



ABRIR CAPÍTULO 2

2.4.3 Sistemas lacustres

Bajo el epígrafe de sistemas lacustres se analizan en este apartado aquellas secuencias que han sido interpretadas como producto de la sedimentación en lagos, según la definición y los criterios de discriminación frente a otros depósitos lacustres que se detallaron en la introducción al análisis sedimentológico. Según esto, se han interpretado como secuencias formadas en lagos todas aquellas de las que se infiere la existencia de un cuerpo de agua permanente cuyas dimensiones, configuración y dinámica de funcionamiento permitieron una zonación ambiental interna relativamente compleja, así como la formación y preservación de facies laminadas.

En el área de estudio se han reconocido un total de cinco secuencias de instalación y somerización de lagos carbonatados, todas ellas muy similares entre sí. Tres de estas secuencias se encuentran en el Sinclínorio de Las Hoyas y conforman la Secuencia de la Rambla de las Cruces II. Cada una de ellas corresponde con cada una de las tres subunidades en que se ha podido dividir esta secuencia. La cuarta se reconoce en el Sector Occidental y la quinta en el Sector Meridional.

El esquema de exposición es similar al del apartado anterior, ya que se describen e interpretan por separado los distintos dominios ambientales que configuran el sistema deposicional, en este caso el sistema lacustre. Siguiendo las directrices de Glenn y Kelts (1991), ya explicadas en la introducción, se abordarán por separado los diferentes dominios o cinturones ambientales que, hipotéticamente, podrían reconocerse en un lago (supralitoral, eulitoral, intralitoral, sublitoral, talud, cuenca). En el caso concreto de este estudio, se han considerado tres dominios que proceden del agrupamiento dos a dos de los seis dominios originalmente propuestos:

1. Dominio supralitoral y eulitoral.
2. Dominio intralitoral y sublitoral.
3. Dominio de talud y cuenca.

Se ha realizado este agrupamiento para facilitar las descripciones ya que se han encontrado algunas dificultades para discriminar certeramente entre algunos de estos seis cinturones ambientales, debido a que algunas de las facies observadas no tienen una interpretación ambiental única dentro de este esquema de subdivisión ambiental para lagos.

Las facies que representan los tres dominios se encuentran relacionadas entre sí por cambios laterales y verticales graduales, constituyendo, en conjunto, una secuencia de facies en la que la asociación del dominio de talud y cuenca ocupa la posición basal, la asociación del dominio intralitoral y sublitoral la posición intermedia y la asociación del dominio supralitoral y eulitoral la posición más alta o de techo.

Como en el apartado anterior, se ha elaborado un cuadro de las facies identificadas en las secuencias de sistemas lacustres (Fig. 2.4.12) en el que se ha reunido la mayor cantidad posible de las características que presentan. Algunas de las facies que aparecen en este cuadro se encuentran también en los cuadros correspondientes a las facies del sistema de llanuras aluviales distales y palustres, concretamente algunas de las que se reconocen en el dominio palustre-lacustre de dicho sistema. Esto es así debido a que las facies de los dominios litorales de los lagos son muy parecidas a las facies producidas en ambientes de llanuras palustres, charcas y lagunas que ya fueron descritas e interpretadas en el apartado anterior.

Las facies del dominio de cuenca (calizas finamente laminadas), que ocupan la posición basal en el conjunto de la secuencia, se caracterizan por contener una asociación de fósiles que cubre un amplio espectro de diversidad (ver Parte I, Apartado 1.4) y que se considera excepcional, en cuanto a la elevada abundancia de restos de organismos y en

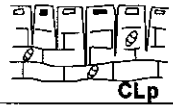
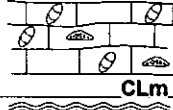
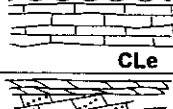
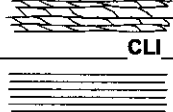
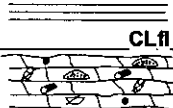
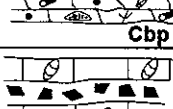
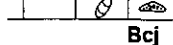
FACIES			TEXTURA	COMPOSICIÓN	CARACTERÍSTICAS Y GEOMETRÍA	INTERPRETACIÓN AMBIENTAL
CALIZAS (CL)	Calizas con estructuras prismáticas verticales	 CLp	Wackestone-packstone	Carófitas, ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, intraclastos y cantos negros	Aspecto columnar debido a huellas de bioturbación de raíces y brechificación al techo Cuerpos tabulares y lenticulares	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL Litoral lacustre sometido a oscilaciones de la lámina de agua y colonizado por vegetación enraizada
	Calizas biomicríticas masivas	 CLm	Mudstone-packstone	Carófitas, ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, intraclastos y cantos negros	Masivas. Matriz micrítica que presenta aspecto grumoso-peletoide debido a bioturbación intensa Cuerpos tabulares	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL Áreas protegidas del eulitoral con desarrollo de praderas de carófitas
	Calizas estromatolíticas	 CLe	Boundstone	Tapices laminares de algas cianofíceas	Laminadas Niveles tabulares	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL Áreas protegidas del eulitoral lacustre
	Calizas bioclásticas con estratificación cruzada	 CLt	Packstone-grainstone	Carófitas, ostrácodos, intraclastos, fragmentos bioclásticos no identificables	Estratificación cruzada de surco Techos lajeados por laminación de ripples Cuerpos tabulares y lenticulares convexos	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL Megaripples o dunas en áreas eulitorales agitadas. (En ocasiones en ambiente intralitoral)
	Calizas micríticas tableadas	 CLmt	Mudstone	Ostrácodos articulados Peloides	Vestigios de laminación destruida por bioturbación Niveles tableados centimétricos	DOMINIO INTRALITORAL-SUBLITORAL Sedimento decantado en áreas tranquilas bajo nivel de base de oleaje
	Calizas lajosas	 CLI	Mudstone -packstone	Ostrácodos, bivalvos, restos vegetales, fragmentos bioclásticos no identificables, peloides	Bioturbación intensa Lajas irregulares centimétricas	DOMINIO INTRALITORAL-SUBLITORAL Decantación en áreas sublitorales de sedimentos remobilizados durante episodios de tormenta
	Calizas finamente laminadas	 CLfi	Mudstone	Carófitas, ostrácodos, peloides, fragmentos bioclásticos no identificables, asociación muy diversa de flora y fauna de tipo Konservat-Lagerstätte	Laminación rítmica milimétrica Slumps frecuentes Paquetes tabulares de laminitas	DOMINIO DE CUENCA Sedimentación en las zonas más distales del lago. Flujos densos, decantación y laminaciones algares
Calcarenitas bioclásticas y peloides	 Cbp	Grainstone	Carófitas, ostrácodos, bivalvos, fragmentos bioclásticos no identificables, fragmentos vegetales, peloides intraclásticos	Lajos Estratificación cruzada de surco a media escala y laminación de ripples a pequeña escala	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL DOMINIO INTRALITORAL-SUBLITORAL Trenes de ripples migrando en áreas eulitorales o intralitorales agitadas	
Brechas de cantos jurásicos	 Bcj	Rudstone. 5-15 cm. Angulosos a subangulosos Mal seleccionados Granosostenidos y cantos dispersos en la matriz	Cantos calcáreos jurásicos, intraclastos y fragmentos de huesos	Niveles tabulares masivos, decimétricos, intercalados en cuerpos de facies CLm y CLt	DOMINIO SUPRALITORAL-EULITORAL Depósitos procedentes de pequeños relieves próximos al margen lacustre introducidos en avenidas	

Fig. 2.4.12. Cuadro sinóptico que muestra las principales características de las facies reconocidas en las secuencias de somerización de los sistemas lacustres.

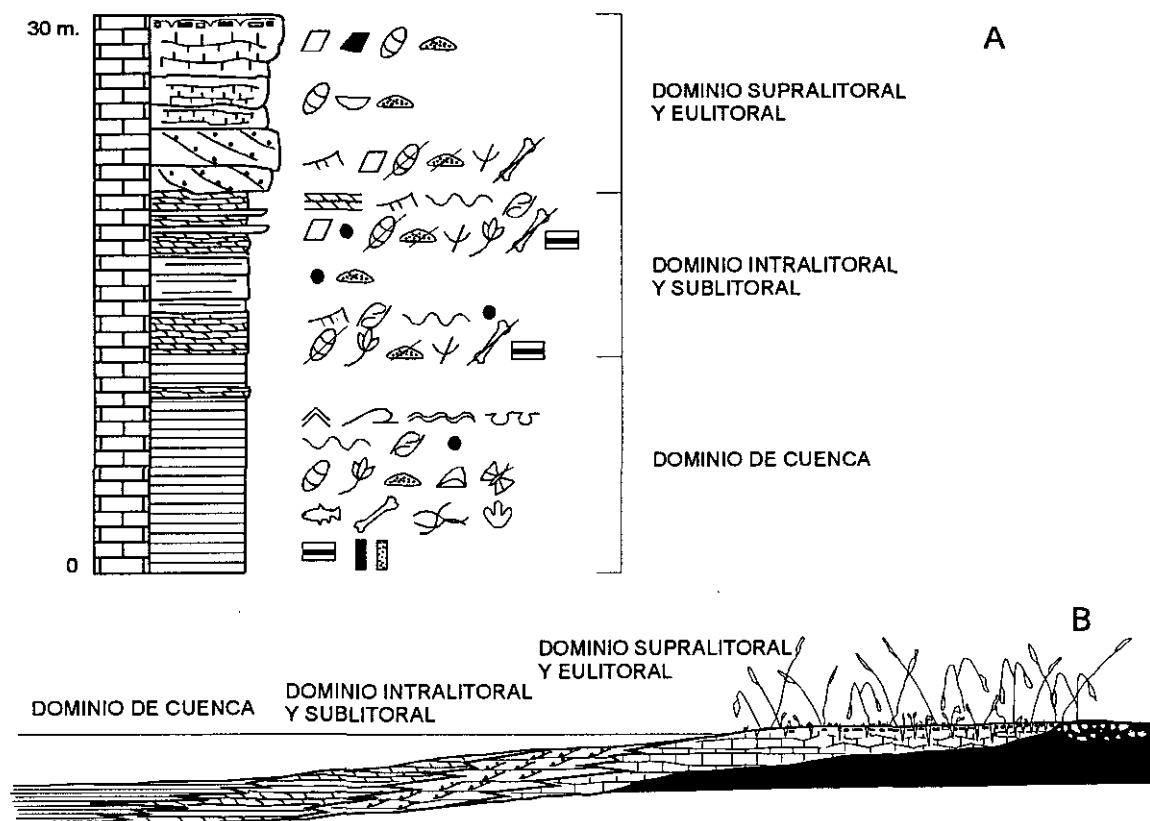


Fig. 2.4.13. A. Representación de la secuencia típica de colmatación y somerización de los sistemas lacustres.

B. Distribución de los cinturones de facies que caracterizan los tres dominios ambientales que se distinguen dentro los sistemas lacustres, en un corte que muestra la reconstrucción del perfil lago.

cuanto a la buena calidad de preservación de los mismos. Cada una de las cinco secuencias identificadas en el área de estudio contiene en sus términos basales un yacimiento de fósiles de los conocidos como *Konservat-Lagerstätten* (Seilacher *et al.*, 1985). De estas cinco secuencias la que ocupa el segundo lugar, en posición estratigráfica dentro de la Secuencia de la Rambla de las Cruces II, en el Sinclinoriode Las Hoyas, es la que engloba al que se conoce como yacimiento de Las Hoyas.

De acuerdo con los objetivos planteados al comienzo de este trabajo se ha realizado un análisis sedimentológico detallado del litosoma laminado que contiene el yacimiento de Las Hoyas. Teniendo en cuenta tanto la escala a la que se ha realizado el análisis, como que éste ha sido llevado a cabo exclusivamente para una de las secuencias lacustres, dicho análisis se expondrá por separado en el siguiente apartado (2.4.4). Por consiguiente, una gran parte de los datos que se poseen sobre las facies laminadas del dominio de cuenca de

la secuencia en la que se encuentra el yacimiento de Las Hoyas no serán utilizados en el análisis de secuencias lacustres que se realiza en este apartado, usándose aquí exclusivamente los datos de campo y los datos petrográficos derivados de los muestreos generales.

Una vez expuesto el análisis sedimentológico del yacimiento de Las Hoyas se integrarán todos los datos y se procederá a realizar una discusión general sobre la dinámica paleoambiental y la evolución de los sistemas lacustres o paleolagos.

2.4.3.1 Dominio supralitoral y eulitoral

La asociación de facies que caracteriza este dominio ambiental está constituida por las siguientes facies (Fig. 2.4.12): calizas con estructuras prismáticas verticales y techos brechificados (CLp), calizas

biomicríticas masivas con restos de carófitas y ostrácodos (CLm), calizas estromatolíticas (CLE), calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) y calcarenitas lamosas bioclásticas y peloidales (Cbp). Además se han reconocido: niveles de brechas constituidas por cantos calcáreos angulosos procedentes del sustrato jurásico (Bcj) intercalados en cuerpos de calizas biomicríticas masivas (CLm) y en cuerpos de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt); así como niveles de brechas formadas por fragmentos de huesos de grandes vertebrados, probablemente dinosaurios, que siempre se asocian a las facies de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt).

Las facies enunciadas aparecen normalmente asociadas al techo de la secuencia de somerización del sistema lacustre (Fig. 2.4.13). El orden interno que presenta la asociación, en cuanto a la distribución lateral y vertical de las facies, suele ser, en el caso más simple, el siguiente:

A la base de la asociación se reconocen calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) dispuestas en cuerpos que raramente superan los 0,5 m de espesor y cuyos techos se abren en lamas calcareníticas (Cbp) irregulares de 0,5 a 1 cm de grosor. Se interpreta que la lamoidad se debe a estratificación cruzada de pequeña escala de ripples. En conjunto, las facies CLt aparecen en paquetes tabulares, aunque internamente los cuerpos pueden presentar techos planos o ligeramente convexos con amplio radio de curvatura. Asimismo, en algunos casos, se reconocen, a escala de los cuerpos tabulares y con techo convexo individualizables, sets de laminación cruzada marcados por la alineación de talos de carófitas.

Es común que estas facies contengan fragmentos de huesos que en ocasiones llegan a constituir brechas de huesos empastadas por la matriz bioclástica.

Las facies lamosas calcareníticas (Cbp) que caracterizan los techos de los niveles dominan gradualmente hasta constituir el siguiente término de la asociación,

presentando, en conjunto y a media escala, estratificación cruzada de surco.

Por encima se reconocen calizas masivas biomicríticas (CLm) con abundantes restos de carófitas y ostrácodos dispuestas en bancos tabulares de 0,3 m a 1 m de espesor que pueden presentar intercalados niveles centimétricos de calizas estromatolíticas. A este término de la asociación suceden facies de calizas con estructuras prismáticas verticales (CLp), debidas a la bioturbación por raíces, y techos brechificados que resultan de la modificación de las facies de biomicríticas masivas, en condiciones subaéreas palustres (Lámina IV.1).

Sobre este patrón general de la asociación más completa observable y real ha sido posible reconocer algunas variaciones que se manifiestan y reconocen localmente:

- El término de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt), no se reconoce o se encuentra muy reducido.

- El término de calizas calcareníticas lamosas se encuentra ausente o tiene una escasa representación.

- Las calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) alternan con facies de calizas biomicríticas masivas (CLm), ocupando, por tanto, ambos términos la misma posición estratigráfica en la sucesión de facies.

- El término de calizas biomicríticas masivas aparece muy reducido, hasta el extremo de que las calizas con estructuras prismáticas verticales (CLp) están formadas a partir de la modificación de facies de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt). En este caso, aunque la laminación cruzada interna suele encontrarse obliterada, puede observarse conservada la estratificación cruzada a media escala (Lámina IV.2 y 4).

- Los términos de calizas biomicríticas masivas (CLm) y calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) presentan

intercalados niveles de 15 a 25 cm de espesor, con morfología tabular y constituidos, en su mayor parte, por cantos angulosos calcáreos mal seleccionados, con tamaños que oscilan entre los 5 y los 15 cm procedentes del sustrato jurásico (Facies Bc_j; Lámina IV.5). Además pueden contener intraclastos y fragmentos de huesos. Los cantos también pueden aparecer aislados y dispersos en la matriz bioclástica o biomicrítica.

La mayor parte de los términos de la asociación han sido ya descritos en las asociaciones de charcas y lagunas del dominio palustre-lacustre, dentro del sistema de llanuras aluviales distales y palustres y las interpretaciones de las mismas son muy similares.

La asociación representa la sedimentación en áreas lacustres supralitorales y fundamentalmente eulitorales someras. Los cuerpos de facies de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CL_t) se interpretan como dunas y megarripples y constituyen junto con las facies de calcarenitas lajosas con estratificación cruzada de pequeña escala debida a ripples, una pequeña secuencia de pérdida de la capacidad tractiva y la competencia de las corrientes que dan lugar a estas formas (Lámina IV.3). Se interpreta que dichas corrientes habrían sido inducidas por tormentas y darían lugar al retrabajamiento, tracción y redistribución de los sedimentos litorales formados en las etapas de escasa o nula agitación dentro del

propio ambiente eulitoral. Los ripples que se reconocen al techo de las dunas y megarripples son, en ocasiones, simétricos, lo cual indica retrabajamiento por oleaje. Estas mismas son las condiciones de formación de niveles de brechas de fragmentos de huesos, es decir el retrabajamiento y acumulación por corrientes litorales y oleaje.

Los términos de calizas masivas biomicríticas (CL_m), por el contrario, representarían la sedimentación de fangos micríticos y la acumulación de restos bioclásticos en condiciones de escasa agitación y turbidez, ambiente somero, oxigenado y bien iluminado en el que se desarrollan praderas de algas carófitas, el más abundante de los restos que contienen estas facies y, probablemente, el organismo responsable de la formación de la mayor parte del carbonato lacustre. En las mismas condiciones se desarrollarían los tapices estromatolíticos que aparecen asociados con las facies de calizas masivas con restos de carófitas.

Esa sedimentación se produciría tanto en áreas protegidas del eulitoral como en etapas de tranquilidad en todo este cinturón litoral. La exposición subaérea de estas facies en los momentos de bajada del nivel lacustre daría lugar a la colonización por plantas con raíces y al desarrollo de procesos diagenéticos tempranos en ambiente palustre, tales como las brechificaciones incipientes observadas al techo de los bancos.

LÁMINA IV

Dominio supralitoral y eulitoral

1. Aspecto típico de campo de calizas con desarrollo de estructuras de disyunción prismática vertical debidas a bioturbación por raíces. Estas facies se forman en medio eulitorales a supralitorales.
2. Calizas bioclásticas con estratificación cruzada que muestran desarrollo incipiente de huellas verticales debidas a bioturbación por raíces. Estos cuerpos se forman en ambientes eulitorales agitados que sufren exposición subaérea periódicamente.
3. Calizas bioclásticas y calcarenitas lajosas bioclásticas y peloidales con estructuras de estratificación cruzada. Esta asociación de facies se debe a la migración de dunas, megarripples y trenes de ripples en ambientes eulitorales a intralitorales en condiciones agitadas y en relación con episodios de tormentas.
4. Aspecto general del paso de términos de calcarenitas lajosas bioclásticas y peloidales hacia calizas bioclásticas con estratificación cruzada, constituyendo una secuencia de de agitación creciente y somerización dentro del ambiente eulitoral.
5. Intercalación de un nivel de brecha de cantos calcáreos procedentes del sustrato jurásico en calizas masivas biomicríticas típicas de la sedimentación en ambientes eulitorales.

Lámina IV

1



2



3



4



5



La discriminación entre los ambientes supralitoral y eulitoral está en función de las oscilaciones de la lámina de agua. Mientras que se considera que la zona eulitoral es aquella sometida a las fluctuaciones anuales y estacionales del nivel lacustre, la zona supralitoral permanecería siempre expuesta, salvo en momentos excepcionales coincidiendo con eventos de fuertes subidas del nivel. Siendo este el criterio de discriminación entre ambos ambientes, las evidencias del desarrollo de rasgos en las facies que indican exposición subaérea, es decir colonización y bioturbación por plantas con raíces y desarrollo de procesos diagenéticos tempranos en medio edáfico, así como la intensidad y grado de evolución de dichos rasgos, serían las claves que podrían permitir distinguir entre ambos ambientes en el caso de la secuencia que se está analizando.

Se considera que los lagos cuyas secuencias de somerización se están describiendo e interpretando, debieron estar rodeados de cinturones palustres que constituirían el dominio supralitoral en los que se desarrollarían secuencias muy similares a las descritas como formadas en llanuras palustres (apartado 2.4.2.3). El desarrollo y la progradación de este cinturón de facies sobre el resto de los cinturones ambientales lacustres debería haber quedado representado en el último término de la secuencia de somerización lacustre. El último término observado en la secuencia descrita, si bien presenta rasgos ligados al desarrollo de procesos edáficos, el grado de evolución y madurez de los mismos no implica tiempos prolongados de exposición subaérea, no se observan marmorizaciones, nodulizaciones, ni el desarrollo de fábricas intraclásticas brechoídes. Los rasgos que se observan se limitan a huellas verticales de raíces y brechificaciones que se restringen al techo de los bancos y no llegan a afectar a la totalidad del cuerpo sedimentario. En el modelo de Arribas *et al.* (1989), explicado en el apartado anterior (Fig. 2.4.11) la sucesión observada equivaldría a una secuencia de tipo D, formada en ambientes eulitorales y en la franja de transición entre el ambiente supralitoral y

eulitoral. En el caso que se está estudiando, la ausencia de términos netamente palustres al techo de las secuencias, probablemente se debe a que las condiciones sedimentarias cambiaron antes de que el cinturón supralitoral palustre llegara a progradar completamente sobre el cinturón eulitoral. Sin embargo en dos de las secuencias (sectores Occidental y Meridional) sí se ha observado la presencia lateral de secuencias exclusivamente palustres, aunque no ha sido posible encontrar criterios estratigráficos para establecer la estricta contemporaneidad de ambas secuencias (secuencia de somerización lacustre y secuencia palustre). En el caso de las otras tres secuencias lacustres no se han reconocido en ningún punto secuencias palustres que pudieran interpretarse como lateralmente equivalentes. La ausencia puede deberse tanto a que no se hubieran conservado si se desarrollaron en áreas de baja subsidencia, como a que en caso de conservarse, al menos en parte, hayan sido posteriormente erosionados.

No todas las facies que se han interpretado como formadas en el ambiente eulitoral presentan rasgos de exposición subaérea. Así por ejemplo, las facies del cordón de dunas y megarriples, podrían haberse interpretado como formadas en el dominio eulitoral o intralitoral, dependiendo de la secuencia en la que se encuentran.

Respecto a las variaciones que se observan sobre la asociación observable más completa descrita al comienzo, la representación escasa del término formado por calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) ha sido observada en un único caso (Sector Meridional) y lleva aparejada la ausencia de términos de calcarenitas lajosas, bioclásticas y peloidales (Cbp). Es probable que esta secuencia se formase en un lago que ocupó una posición geográfica protegida frente a la acción de los vientos regionales dominantes y la acción de las tormentas.

El caso de variación debida a la escasa representación de facies de calizas biomicrocíticas masivas (CLm) se observa también en una única ocasión (segunda

subunidad o secuencia de somerización de la Secuencia de la Rambla de las Cruces II) y no en toda la extensión de afloramiento de la secuencia. Se interpreta que se debe a que la secuencia se ha desarrollado en áreas desprotegidas del margen lacustre y sometidas a agitación permanente.

La alternancia de calizas bioclásticas con estratificación cruzada (CLt) y calizas biomicriticas masivas (CLm) en la misma posición estratigráfica es muy habitual y se observa en casi todas las secuencias en que ambas facies se encuentran presentes, aunque no en toda la extensión de afloramiento de las mismas. Esta alternancia podría ser el reflejo del relevo de etapas de calma y etapas en las que tormentas y avenidas se suceden con frecuencia.

La intercalación de niveles tabulares de brechas con cantos jurásicos (Bcj) en las facies eulitorales se observa solamente en un único caso, en la última de las tres subunidades o secuencias de somerización que constituyen la Secuencia de la Rambla de Las Cruces II en el Sinclinorio de Las Hoyas. La elevada angulosidad de los cantos indica que estos apenas sufrieron transporte y probablemente proceden de un pequeño relieve inmediatamente adyacente al margen lacustre, desde el que probablemente fueron arrastrados durante una avenida.

La asociación de facies supralitorales y eulitorales que se ha descrito equivale a lo que Fregenal Martínez y Meléndez (1995a) denominaron el cinturón ambiental y de facies proximal o somero de la secuencia de somerización del sistema lacustre de Las Hoyas.

2.4.3.2 Dominio intralitoral y sublitoral

La asociación de facies que caracteriza este dominio ambiental está constituida por las siguientes facies (Fig. 2.4.12): calizas micriticas tableadas (CLmt), calizas lajosas (CLI) y calcarenitas lajosas bioclásticas y peloidales (Cbp).

Las facies enunciadas aparecen normalmente asociadas en una posición intermedia en la secuencia de somerización del sistema lacustre (Fig. 2.4.13), por debajo de la asociación del dominio supralitoral y eulitoral (Lámina V.1) y por encima de la asociación del dominio de talud y cuenca (Lámina VI.1).

El orden interno que presenta la asociación, en cuanto a la distribución lateral y vertical de las facies, suele ser el que a continuación se explica.

El término basal de la asociación está constituido por calizas micriticas tableadas (CLmt). Esta facies consiste en calizas estratificadas en tablas de varios centímetros de espesor (Lámina V.5), en general compuestas por fango micritico, que a escala microscópica muestran vestigios de una laminación grosera que ha sido destruida por bioturbación. La laminación original parece haber estado definida por variaciones en el tamaño de las partículas del sedimento micritico. Contiene restos de pequeños ostrácodos, en su mayor parte articulados (Lámina V.6).

Es común que a este término se asocien algunas estructuras de deformación sinsedimentaria y *slumps* (Lámina V.2).

Tanto las facies de calizas lajosas (CLI) como las facies de calcarenitas lajosas bioclásticas y peloidales (Cbp) suelen aparecer por encima de las facies de calizas micriticas tableadas (CLmt), aunque dada la transición gradual que suelen mostrar las facies tableadas hacia las facies lajosas es normal que aparezcan intercalándose entre los términos tableados (Lámina V.3), predominando progresivamente el término de calcarenitas lajosas (Cbp), que suelen aparecer en último lugar en la asociación. Los términos lajosos llegan a aparecer intercalados, esporádicamente, incluso entre los términos de calizas finamente laminadas del dominio de cuenca.

Las calizas lajosas (CLI) suelen estar formadas, al igual que las calizas tableadas, por fango carbonático constituido por partículas de tamaño limo, con restos de



ostrácodos, en ocasiones articulados, y bivalvos, también suelen contener restos vegetales. Una observación detallada a escala microscópica muestra que, en gran parte de los casos, el sedimento está compuesto por minúsculos peloides y fragmentos bioclásticos no identificables con un empaquetamiento denso.

Las calcarenitas lajas bioclásticas y peloidales (Cbp) ya han sido descritas en el dominio eulitoral, ya que esta facies es compartida por ambos ambientes, aunque cuando aparecen en la asociación del dominio intralitoral y sublitoral muestran algunas variaciones. En general, cuando aparecen en este dominio son *grainstones*, a veces *packstones*, formados por fragmentos bioclásticos, peloides intraclásticos y restos vegetales en ocasiones muy abundantes, en cuyo caso suelen contener también ciertas cantidades de materia orgánica indiferenciada y abundantes óxidos de hierro, lo cual confiere a estas facies el característico color negro que presentan en campo. Las condiciones de afloramiento no han permitido determinar si muestran estratificación cruzada o laminación cruzada de pequeña escala, aunque dada la composición y textura de las facies se considera probable.

Existe una variedad de facies calcareníticas que ha sido reconocida en una única ocasión en la primera subunidad o secuencia de somerización de la

Secuencia de la Rambla de las Cruces II, y en la Columna de la Rambla de Las Cruces y que consiste en *grainstones* lajosos a tableados que muestran una laminación de escala centimétrica interna grosera y que están compuestos por restos de carófitas, ostrácodos y foraminíferos, en concreto miliólidos.

Se han reconocido dos tipos de variaciones de la sucesión observable más completa que se acaba de describir:

-El dominio intralitoral y sublitoral está representado exclusivamente por calizas micríticas tableadas (CLmt) no observándose presencia de ninguna de las dos facies lajas (CLl y Cbp).

-El término inferior de la asociación del dominio intralitoral y sublitoral está representado por calizas y calcarenitas lajas (facies CLl y Cbp) que llegan a intercalarse con las facies del dominio de cuenca, encontrándose el término de calizas micríticas tableadas (CLmt) extremadamente reducido o ausente.

En conjunto la asociación representa la sedimentación en las zonas más internas del litoral lacustre que pueden llegar a quedar expuestas subaéreamente sólo en situaciones excepcionales.

Las facies tableadas representarían la sedimentación de fango carbonático en zonas protegidas y tranquilas o por debajo

LÁMINA V

Dominio intralitoral y sublitoral

1. Aspecto de campo de la sucesión de facies que refleja el paso desde ambientes intralitorales a ambientes eulitorales. En la parte inferior de la foto se aprecia el desarrollo de facies de calizas lajas formadas en ambiente intralitoral y sublitoral y en la parte superior niveles de calizas masivas típicas de ambientes eulitorales.
2. Calizas lajas y tableadas típicas del dominio intralitoral y sublitoral con estructuras de deformación sinsedimentarias.
3. Aspecto de campo de las facies de calizas tableadas y en algunos niveles lajas, típicas del dominio intralitoral y sublitoral. En la parte inferior de la foto se aprecia el paso hacia las facies laminadas del dominio de cuenca.
4. Aspecto al microscopio de las facies de calizas lajas en el que se observa la alternancia de pequeños niveles bioclásticos *grainstone* con empaquetamiento denso y niveles micríticos con restos bioclásticos dispersos.
5. Calizas tableadas que constituyen el término basal de la asociación del dominio intralitoral y sublitoral.
6. Detalle al microscopio de las facies de calizas micríticas tableadas en el que se observa que están compuestas por fango micrítico y restos de ostrácodos de pequeño tamaño articulados.

Lámina V

1



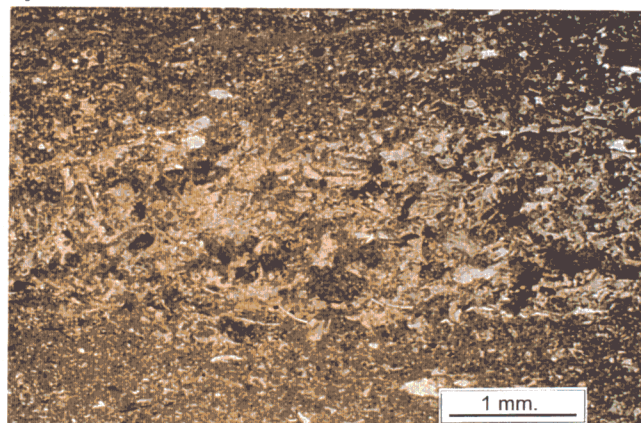
2



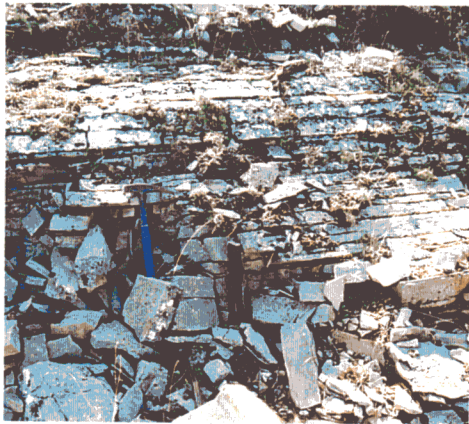
3



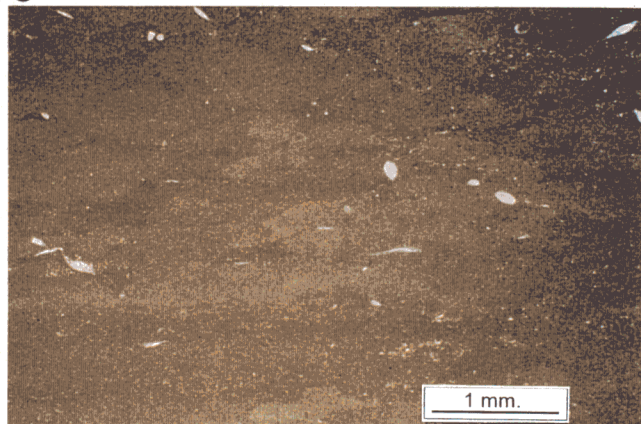
4



5



6



del nivel de base del oleaje, en un fondo oxigenado colonizado por bioturbadores, muy posiblemente en el cinturón sublitoral. La estructuración interna en láminas groseras definidas por pequeñas variaciones en el espectro de tamaños de las partículas micríticas, parece estar indicando que la sedimentación se produjo por decantación de partículas y granos en suspensión. Este sedimento podría corresponder a la fracción más fina del material removilizado en las áreas litorales más someras durante las etapas de tormentas que dieron lugar a la formación del cinturón de *megaripples* en las áreas eulitorales y en algunos casos intralitorales. También podría proceder de la carga aportada desde fuera del lago en avenidas.

El origen del sedimento que constituye las facies de calizas lajosas (CLI) y las facies de calcarenitas lajosas (Cbp) sería el mismo que el que se acaba de proponer para las calizas micríticas tableadas.

En cuanto a los procesos de formación, las facies de calizas lajosas (CLI) podrían haberse depositado por decantación de sedimento en suspensión, aunque el mayor tamaño de las partículas podría estar indicando una mayor proximidad del depósito a la fuente de origen del transporte del sedimento. La lajosidad podría deberse a una intensa actividad de bioturbadores de fondo. Probablemente se formaron en áreas sublitorales a intralitorales bajas.

Las calcarenitas lajosas bioclásticas y peloides (Cbp), al igual que en el caso de su aparición en el dominio eulitoral están ligadas a procesos de tracción del material removilizado en las zonas litorales más someras durante etapas de tormentas o bien a la redistribución del material aportado desde fuera del lago en el medio litoral. En este caso es probable que la lajosidad esté ligada a una laminación de *ripples* mal conservada.

La presencia en algunos casos de abundantes restos vegetales es una evidencia de la existencia de aportes externos al lago.

Estas facies se formarían en zonas intralitorales.

Respecto a las variaciones sobre la sucesión tipo, la ausencia de las dos facies lajosas (CLI y Cbp) ha sido reconocida en el caso de la secuencia de somerización del Sector Meridional. La ausencia de calcarenitas en esta secuencia ya ha sido mencionada en el apartado anterior, ya que tampoco se reconocen dentro del conjunto de facies del dominio supralitoral y eulitoral. La ausencia de las facies calcareníticas en ambos dominios ambientales y de calizas lajosas en el ambiente intralitoral y sublitoral parece estar indicando que el lago en el que se formó la secuencia se encontraba en una posición geográfica protegida frente a la acción de los vientos regionales dominantes y las tormentas, tal y como ya se explicó en el apartado anterior.

El segundo tipo de variación de la sucesión tipo enunciado más arriba se observa localmente y en algunas de las secuencias. En estos casos el término de calizas micríticas tableadas (CLml) se encuentra extremadamente reducido o ausente y el término inferior de la asociación está representado por calizas y calcarenitas lajosas (facies CLI y Cbp). A escala de campo, es difícil establecer claramente la presencia de ambos tipos de facies lajosas, en una primera aproximación macroscópica sólo se reconocen capas compuestas por calizas lajosas. Sin embargo, a escala microscópica se observa una alternancia de niveles de 0.5 a 3 cm de espesor en la que se suceden niveles de calcarenitas *grainstones* bioclásticas y peloides con un empaquetamiento muy denso y niveles de fango micrítico que contienen peloides y fragmentos bioclásticos de muy pequeño tamaño (Lámina V.4). Cada doblete de la alternancia microscópica de calcarenitas bioclásticas y peloides (Cbp) y calizas lajosas (CLI) representaría un evento de sedimentación de material removilizado en el litoral durante etapas de tormenta. El término calcarenítico correspondería al material transportado, probablemente en un

flujo denso de tipo turbidítico, mientras que el término compuesto fundamentalmente por fango carbonático correspondería a la decantación de la fracción más fina del material removilizado. Esta variación se formaría en áreas más abiertas o menos protegidas del ámbito sublitoral.

En conjunto, la asociación de facies intralitorales y sublitorales equivale a lo que Fregenal Martínez y Meléndez (1995a) denominaron el cinturón ambiental y de facies intermedio de la secuencia de somerización del sistema lacustre de Las Hoyas.

2.4.3.3 Dominio de talud y cuenca

Este dominio está representado por una única facies: calizas finamente laminadas (CLfl) (Fig. 2.4.12), que ocupan la posición basal en la secuencia de somerización lacustre (Fig. 2.4.13; Lámina VI.1).

Se trata de calizas que se abren en lajas milimétricas (Lámina VI.2 y 5), que muestran una gran extensión lateral y una alternancia rítmica de láminas claras y láminas oscuras lo que les confiere un aspecto varvado. Los dobletes no muestran una alternancia regular en el espesor de las láminas y suelen agruparse en conjuntos de laminillas de espesor irregular con predominio o bien de los términos claros, o bien de los términos oscuros (Lámina VI.6).

Presentan frecuentes estructuras de deformación sinsedimentaria de pequeña escala y *slumps* de tamaño centimétrico a decimétrico (Lámina VI.3 y 4), siendo también frecuente la presencia de pequeñas estructuras de deformación por carga.

Suelen ser fétidas y su color varía desde gris claro a negro. Cuando presentan color negro su aspecto es más compacto y muestran fractura concoidea, conteniendo una elevada cantidad de restos vegetales y materia orgánica indiferenciada de origen vegetal terrestre (Talbot, com. per.).

Composicionalmente están formadas por calcita baja en magnesio en un porcentaje que oscila entre el 94% y el 99%, estando el resto compuesto por pequeñas cantidades de arcillas, cuarzo, óxidos de hierro, en gran parte procedentes de la alteración de piritas, y cantidades variables de materia orgánica indiferenciada.

Esta facies contiene, en todas las secuencias estudiadas, una diversa asociación de restos fósiles caracterizada tanto por la gran abundancia de restos como por la buena calidad de preservación de los mismos (Sanz *et al.*, 1996). Además contiene restos icnológicos, tanto trazas de vertebrados (Moratalla *et al.*, 1995; Gibert *et al.*, en prensa) como de invertebrados (Fregenal Martínez y Moratalla, 1995; Fregenal Martínez *et al.*, 1995a).

A escala microscópica se reconoce cierta variedad de microfacies que serán tratadas en detalle en el próximo apartado dedicado al análisis sedimentológico del yacimiento de Las Hoyas. A grandes rasgos se han identificado: depósitos de flujos densos, depósitos de decantación distal de fango micrítico, niveles de acumulación de fragmentos bioclásticos y peloides de muy pequeño tamaño, y depósitos de carbonato producido por actividad algal.

La presencia de depósitos laminados requiere por un lado la existencia de un proceso capaz de producirlos y por otro la concurrencia de un conjunto de condiciones adecuadas para su preservación.

Respecto a las condiciones de formación, desde el punto de vista teórico la producción de sedimentos laminados rítmicos se debe a la variación reiterativa y rítmica en los mecanismos o procesos de sedimentación y en la composición y características del sedimento. Estas variaciones producen las superficies de discontinuidad que separan cada lámina, cada doblete o cada conjunto de dobletes.

En el caso de la secuencia estudiada ha sido posible separar hasta ocho microfacies diferentes que reflejan procesos diferentes de sedimentación (ver apartado 2.4.4).

Respecto a la preservación de los depósitos laminados rítmicos, y nuevamente desde el punto de vista teórico, ésta ha de estar relacionada con la concurrencia de algunos de los siguientes mecanismos:

-Ausencia o condiciones de protección frente a procesos capaces de poner en resuspensión volúmenes grandes de sedimento, es decir ausencia de corrientes de fondo erosivas y en especial protección frente a la acción del viento ya sea por profundidad o por recubrimiento del fondo por tapices algares o bacterianos gruesos.

-Ausencia de bioturbadores de fondo, por anoxia, exceso de salinidad, ausencia de nutrientes, excesiva turbidez o una combinación de condiciones en conjunto inadecuadas para el establecimiento y desarrollo de poblaciones bentónicas.

A estas alturas de la exposición no se poseen aún datos y elementos de juicio suficientes para establecer cuáles de estos factores actuaron o participaron en mayor o menor medida en la preservación de las facies de calizas finamente laminadas, aunque es obvio que de una forma u otra estos son los factores que debieron concurrir.

De todo lo expuesto se puede concluir que estas facies se depositaron en las áreas más distales de los sistemas lacustres, en

ambiente de cuenca abierta y en condiciones adecuadas tanto para la producción como para la preservación de depósitos laminados.

La composición y características de las microfacies de laminitas reseñadas son coherentes con las de los depósitos de los dominios litorales. La presencia de depósitos de flujos densos y de decantación de sedimentos removilizados desde las áreas litorales reflejan un fenómeno que ya se ha mencionado anteriormente en repetidas ocasiones en relación con las facies de otros dominios ambientales. Se encontrarían aquí los depósitos equivalentes distales de dichas facies. Como también se ha mencionado ya, las tormentas podrían haber sido el principal agente de redistribución de sedimentos en todos los dominios ambientales.

No se han reconocido depósitos que puedan ser atribuidos al ambiente de talud y es altamente probable que éste no existiese o no tuviese suficiente desarrollo. La existencia de una transición gradual entre las facies de calizas finamente laminadas y las facies del área sublitoral apoyan esta posibilidad, ya que en las secuencias de relleno de sistemas lacustres con un talud marcado el paso del cinturón de facies del dominio de cuenca al cinturón de facies del dominio litoral suele ser abrupto. Sin embargo, la presencia de *slumps* y otras

LAMINA VI

Dominio de talud y cuenca

1. Vista general en campo de la sucesión vertical de facies que constituye la secuencia de somerización de los sistemas lacustres. En la parte inferior y en primer término aparecen niveles de calizas finamente laminadas del dominio de cuenca. A estos suceden paquetes de calizas tableadas y lajosas del dominio intralitoral y sublitoral. En la parte superior se reconocen algunos niveles de calizas masivas del dominio eulitoral.
2. Aspecto de campo que presentan las facies de calizas finamente laminadas. Como se puede observar éstas se abren en lajas milimétricas muy planas y continuas lateralmente.
3. Estructura de *slump* afectando a facies de calizas finamente laminadas.
4. Nivel de calizas finamente laminadas afectados por deformación debida a deslizamiento o *slumping* sinsedimentario sobre el que se observan niveles posteriores no deformados de la misma facies.
5. Detalle del aspecto que presentan las facies de calizas finamente laminadas en afloramiento antes de que la erosión produzca el lajado típico que se observa en la foto 2, a favor de los planos de discontinuidad de la laminación interna.
6. Aspecto que presenta la laminación interna de las facies de calizas finamente laminadas en corte fresco. Obsérvese la alternancia de láminas claras y oscuras y la irregularidad en el espesor que presentan, agrupándose en conjuntos con predominio de los términos claros o de los términos oscuros.

Lámina VI



estructuras de deformación asociadas evidencia la existencia de una pendiente morfológica y la inestabilidad, inherente o inducida, de los depósitos. Respecto a la existencia de una pendiente morfológica no sería necesario un talud pronunciado para provocar el deslizamiento gravitacional del sedimento, una pendiente de 1° puede ser

suficiente para que una masa plástica de sedimento embebido en agua se deslice (Burgis y Morris, 1987). El desencadenante del movimiento puede ser exclusivamente la gravedad cuando se traspasa el umbral de carga que puede soportar la superficie deposicional. Otro desencadenante muy plausible es la actividad tectónica sinsedimentaria.

2.4.4 Análisis sedimentológico del yacimiento de Las Hoyas

2.4.4.1 Introducción

Este análisis aborda fundamentalmente el estudio detallado de las facies de calizas finamente laminadas en las que se encuentra el yacimiento de Las Hoyas. Una descripción general de estas facies se puede encontrar en el apartado anterior, donde también se expone una interpretación general de las mismas como los sedimentos del ambiente más distal o de cuenca de un lago carbonatado. Se trata por tanto del análisis de las facies laminadas de una sola de las tres subunidades en que se ha dividido la Secuencia de la Rambla de las Cruces II, en concreto la segunda (ver Fig. 2.2.2 en el apartado 2.2.1 Cartografía; Fig. 2.3.8 en el apartado 2.3.2 Descripción de las unidades estratigráficas y Fig. 2.4.14 en este apartado). Por el momento se considera que las conclusiones derivadas del análisis sedimentológico de las facies laminadas del yacimiento de Las Hoyas pueden ser extrapolables a los litosomas laminados de las demás secuencias en cuanto a los mecanismos de sedimentación y condiciones paleoambientales.

El análisis ha consistido en aplicar las técnicas habituales de los estudios estratigráficos y sedimentológicos a una escala muy detallada. Es decir, se han levantado una serie de columnas estratigráficas y se han estudiado e interpretado los materiales que componen dichas sucesiones estratigráficas, así como las relaciones entre ellos. La diferencia con los estudios habituales es que la descripción de estas columnas estratigráficas se ha realizado a una escala de detalle milimétrica y usando como herramienta el microscopio petrográfico. Se han tomado series de muestras que cubrían físicamente la totalidad de varios intervalos estratigráficos seleccionados dentro del litosoma de calizas laminadas, lo que podría considerarse, en cierto modo, equivalente a la obtención del testigo continuo de un sondeo. A continuación se han realizado láminas delgadas de cada una

de las muestras y se ha reconstruido y descrito la sucesión estratigráfica usando el microscopio.

La necesidad y el objetivo de realizar este estudio detallado es doble. Por un lado, a pesar del aspecto relativamente homogéneo que presentan las facies laminadas a escala macroscópica, a escala microscópica se observa cierta variedad de microfacies, hasta completar un total de ocho microfacies diferentes, que reflejan la variedad de procesos que llegan a concurrir en la formación de los litosomas laminados fosilíferos, y cuyos patrones de ordenamiento estratigráfico o secuencial pueden contener importantes claves para desentrañar la historia de las variaciones temporales en los parámetros ambientales, aparentemente cíclicas, del paleolago en el que se produjeron. Por otro lado, la existencia de un yacimiento de fósiles de singular importancia en estas facies genera la necesidad de cubrir una serie de objetivos más paleontológicos relacionados con el establecimiento de la estructura de la asociación de fósiles y los procesos que concurren en su génesis. Cubrir este grupo de objetivos requiere la contrastación de una gran cantidad de datos estratigráficos, sedimentológicos, tafonómicos y paleobiológicos de detalle.

En función de poder cubrir esta doble necesidad y llevar a cabo este doble grupo de objetivos, exclusivamente estratigráficos o sedimentológicos y de contribución al análisis paleontológico del yacimiento, se diseñó la recogida de datos y el muestreo estratigráfico. Así los intervalos o transeptos estratigráficos en los que se han levantado columnas y se han tomado las muestras para el estudio microscópico corresponden con los intervalos estratigráficos excavados para la obtención de restos fósiles y datos tafonómicos asociados. La excavación se realizó utilizando un sistema de cuadrículas,

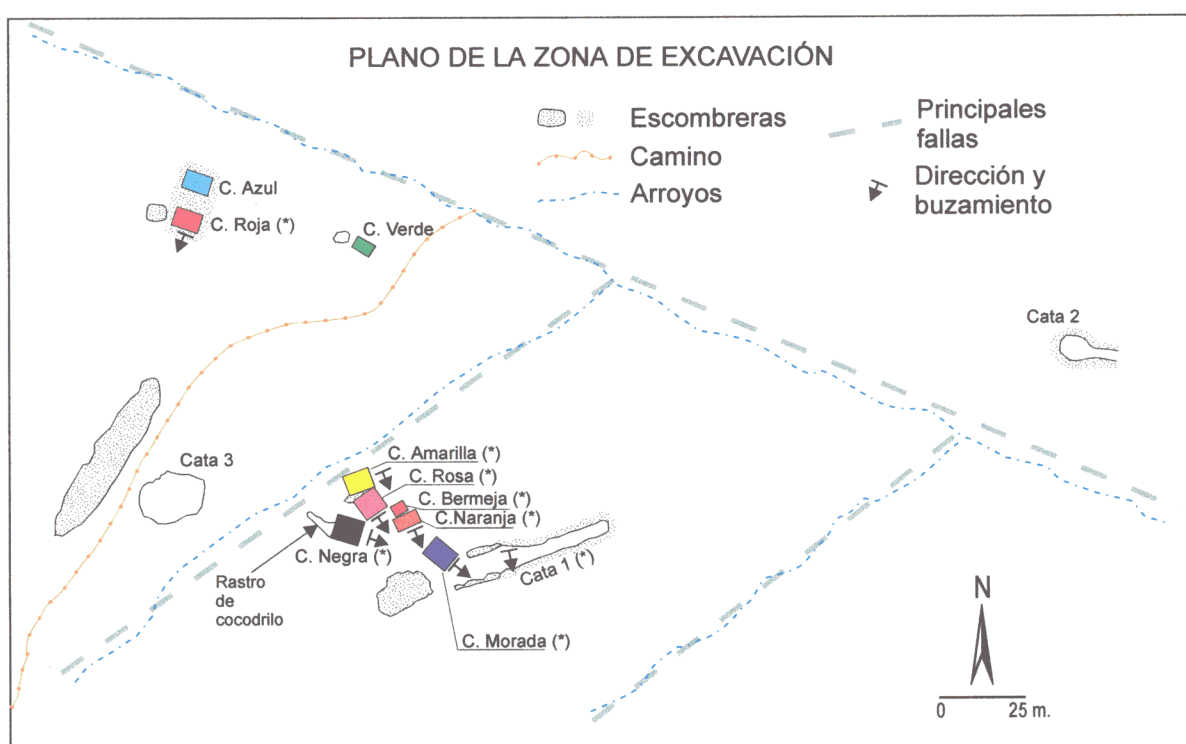
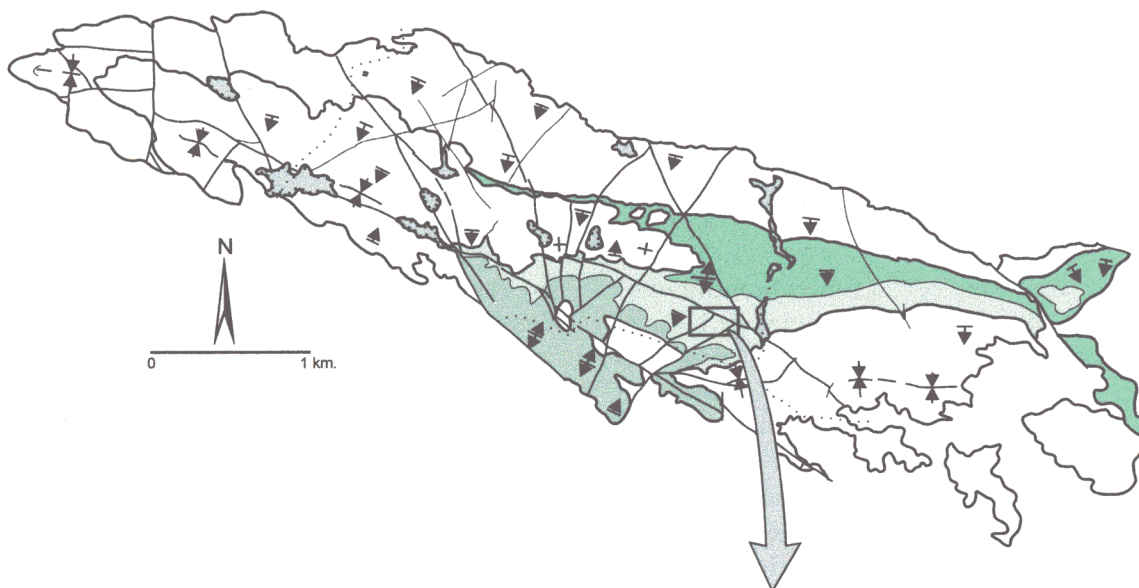


Fig. 2.4.14. Plano de la zona de excavación en el yacimiento de las Hoyas y localización de dicha zona dentro de la Secuencia de la Rambla de las Cruces 2 en un mapa simplificado del Sinclinorio de Las Hoyas. En el plano se encuentran las nueve cuadrículas abiertas y excavadas y las tres catas abiertas entre los años 1991 y 1997. Se han marcado con un asterisco aquellas catas y cuadrículas de las que se presentan sus columnas estratigráficas.

cada una de las cuales se identifica mediante el nombre de un color. Las cuadrículas tienen dimensiones que oscilan entre los 15 y los 35 m² (Lámina VII.3) y fueron colocadas con un lado paralelo a la dirección de las capas y el otro paralelo a la dirección de buzamiento, y se excavaron de techo a base de forma continua o capa a capa (Lámina IX.3, 4 y 5). En la figura 2.4.14 se puede encontrar un plano de la zona de

excavación y la localización de dicha zona en un mapa del Sinclinorio de Las Hoyas, dentro de la Secuencia de la Rambla de las Cruces II. En el plano se puede observar que hasta el momento se han excavado un total de nueve cuadrículas, en cada una de las cuales se levantaron y muestrearon una o varias columnas. Además existen abiertas tres catas de las cuales Cata 1 (Lámina VII.4) y Cata 2 han sido también muestreadas

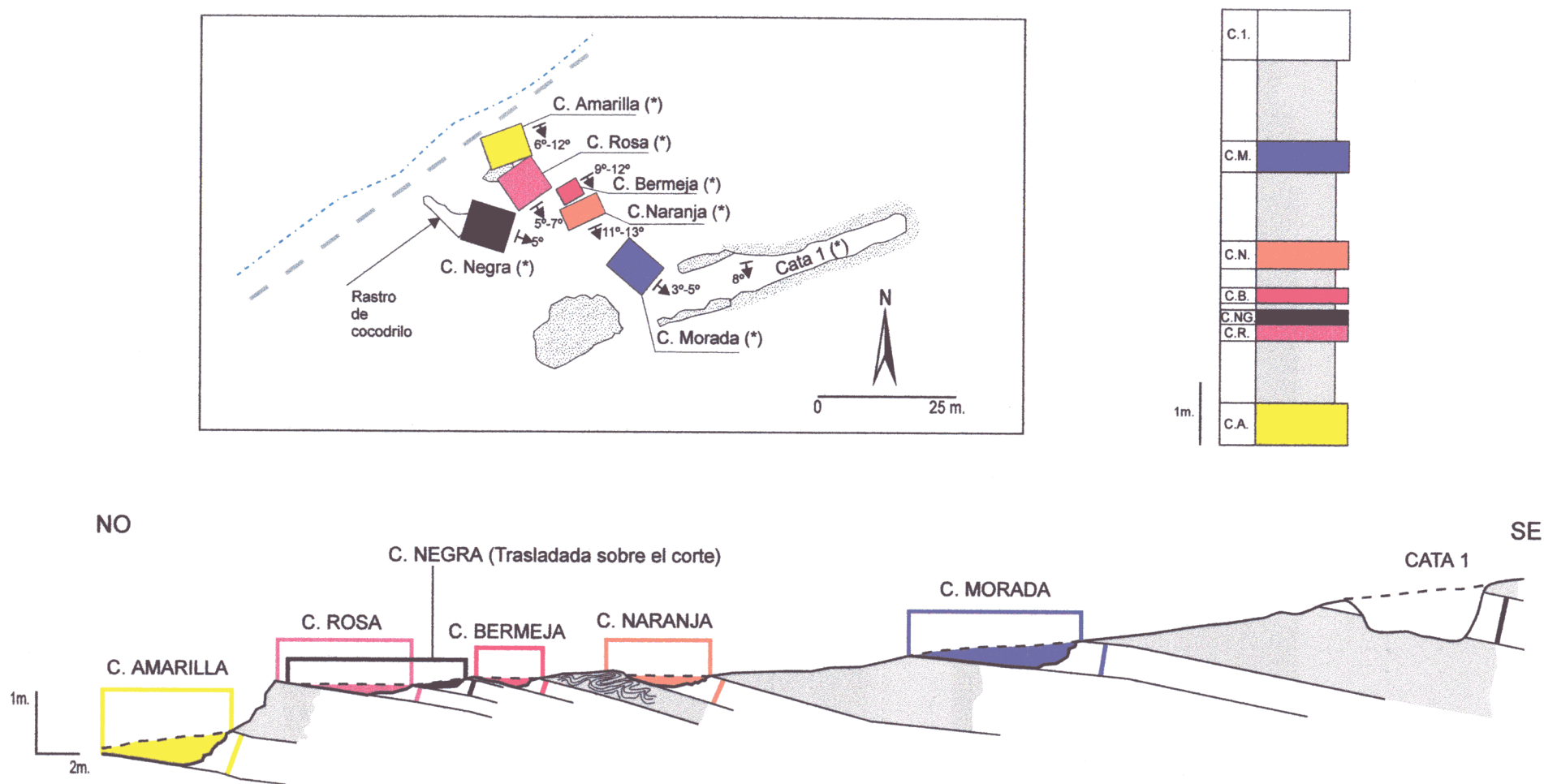


Fig. 2.4.15. Ampliación de la zona central del plano de excavación del yacimiento de Las Hoyas, en la que se encuentran la mayor parte de las cuadrículas cuyas sucesiones estratigráficas se presentan y analizan en este trabajo. Se ha dibujado un corte del intervalo estratigráfico en el que se han realizado las columnas, la posición estratigráfica relativa de las mismas y el perfil bidimensional del volumen de roca excavado en cada cuadrícula. Finalmente se muestra una reconstrucción en forma de columna estratigráfica general de la posición relativa de las columnas realizadas, dentro del conjunto.

Lámina VII



estratigráficamente, aunque aún no han sido excavadas con objeto de recuperar los restos fósiles que puedan contener.

En el total de las once cuadrículas y catas se han realizado diecisiete columnas estratigráficas (tres columnas en la Cuadrícula Negra, dos columnas en las cuadrículas Roja, Azul, Verde y Amarilla y una columna en las cuadrículas Rosa, Bermeja, Naranja y Morada y en las catas 1 y 2) de las cuales se presentan aquí solamente diez de ellas, habiéndose marcado con un asterisco en la figura 2.4.14 las cuadrículas y catas de las que se muestran sus correspondientes columnas.

Se han escogido para su presentación, las columnas cuyas relaciones y posiciones estratigráficas relativas en el conjunto del litosoma laminado han podido ser claramente establecidas y que, además, se encuentran más próximas estratigráficamente de manera que el estudio secuencial pueda considerarse significativo. La posición relativa geográfica y estratigráfica puede observarse en la figura 2.4.15, que contiene: una ampliación del área central del plano de la zona de excavación, área en la que se encuentran estas cuadrículas y catas, un corte que permite reconocer la estructura del intervalo estratigráfico en el que se han realizado las columnas, la posición estratigráfica de las mismas y el perfil bidimensional del volumen de roca excavado, y, finalmente, una restitución en forma de columna estratigráfica general de la posición relativa de las columnas realizadas dentro del conjunto del intervalo

estratigráfico. Por tanto, finalmente se presentan las siguientes columnas: una columna de la Cuadrícula Amarilla (Fig. 2.4.16; Lámina VII.2; Lámina VIII.4) compuesta a partir de las dos que inicialmente se muestrearon en esta cuadrícula, una columna de la Cuadrícula Rosa que ha sido correlacionada con las tres columnas realizadas en la Cuadrícula Negra (Fig. 2.4.17; Lámina VII.3; VIII.3 y 5; Lámina IX.5 y 6), una columna de la Cuadrícula Bermeja (Fig. 2.4.18; Lámina VII.5), una columna de la Cuadrícula Naranja (Fig. 2.4.19; Lámina VII.5 y 6; Lámina IX.3 y 4), una columna de la Cuadrícula Morada (Fig. 2.4.20; Lámina VIII.6) y una columna de la Cata 1 (Fig. 2.4.21; Lámina VII.4).

Además se ha incluido también el perfil de la Cuadrícula Roja (Fig. 2.4.14 y 2.4.22). La localización estratigráfica de esta columna con respecto a las demás es incierta y no ha podido establecerse debido tanto a las malas condiciones de afloramiento que presenta el yacimiento como a la complejidad de la estructura del mismo. Sin embargo, se ha considerado significativa por ser la que se encuentra más próxima a la traza de techo de las facies laminadas y por tanto en ella comienza a apreciarse ya el paso inminente a las facies del dominio intralitoral y sublitoral de la secuencia de somerización lacustre (ver apartado 2.4.3). La columna de la Cuadrícula Roja que se presenta (Fig. 2.4.22) ha sido compuesta a partir de las dos secciones originalmente levantadas en dicha cuadrícula.

LÁMINA VII

1. Aspecto general de la Cuadrícula Azul tras su excavación en el año 1992. Su localización en el yacimiento de Las Hoyas se puede encontrar en la figura 2.4.14.
2. Parte superior de la Cuadrícula Amarilla, excavada en 1992, y niveles estratigráficos suprayacentes. La columna realizada en esta cuadrícula se encuentra en la figura 2.4.16. Para localización en el yacimiento ver figuras 2.4.14 y 2.4.15.
3. Vista general de la Cuadrícula Negra, excavada en 1993. La columna realizada en esta cuadrícula se encuentra en la figura 2.4.17. Para localización en el yacimiento ver figuras 2.4.14 y 2.4.15.
4. Aspecto de la Cata 1 abierta en 1991 y que hasta el momento no ha sido excavada con objeto recuperar restos fósiles. La columna realizada en esta cuadrícula se encuentra en la figura 2.4.21. Para localización en el yacimiento ver figuras 2.4.14 y 2.4.15.
5. Vista general de las cuadrículas Bermeja (en primer plano), excavada en 1996, y Naranja (al fondo), excavada en 1994. La columnas realizadas en estas cuadrículas se encuentran en la figuras 2.4.18 y 2.4.19 respectivamente. Para localización en el yacimiento ver figuras 2.4.14 y 2.4.15.
6. Vista próxima de la Cuadrícula Naranja, excavada en 1994. En las figuras 2.4.19, 2.4.14 y 2.4.15 se pueden encontrar la columna estratigráfica correspondiente y la localización en el yacimiento.

CUADRÍCULA AMARILLA

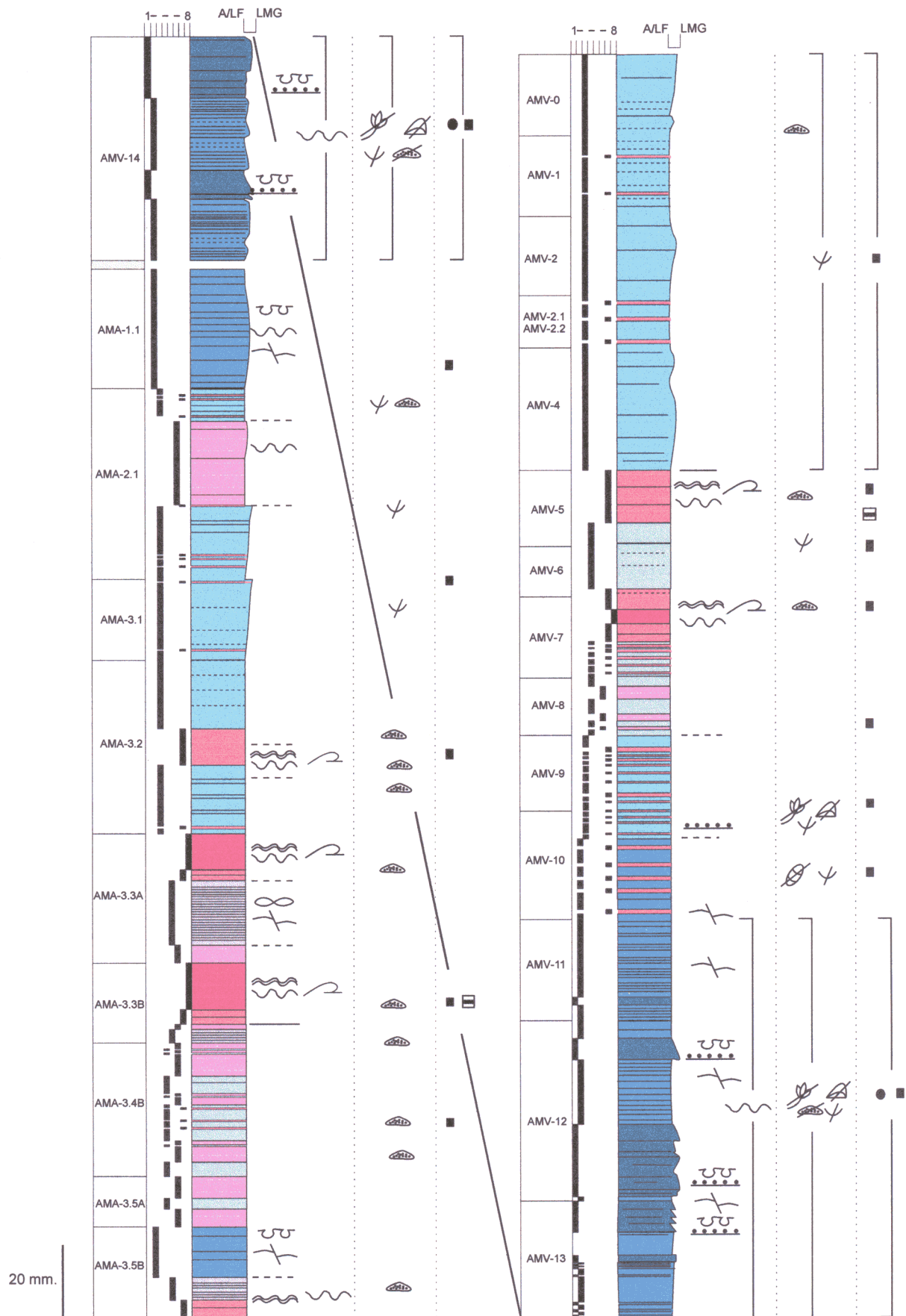
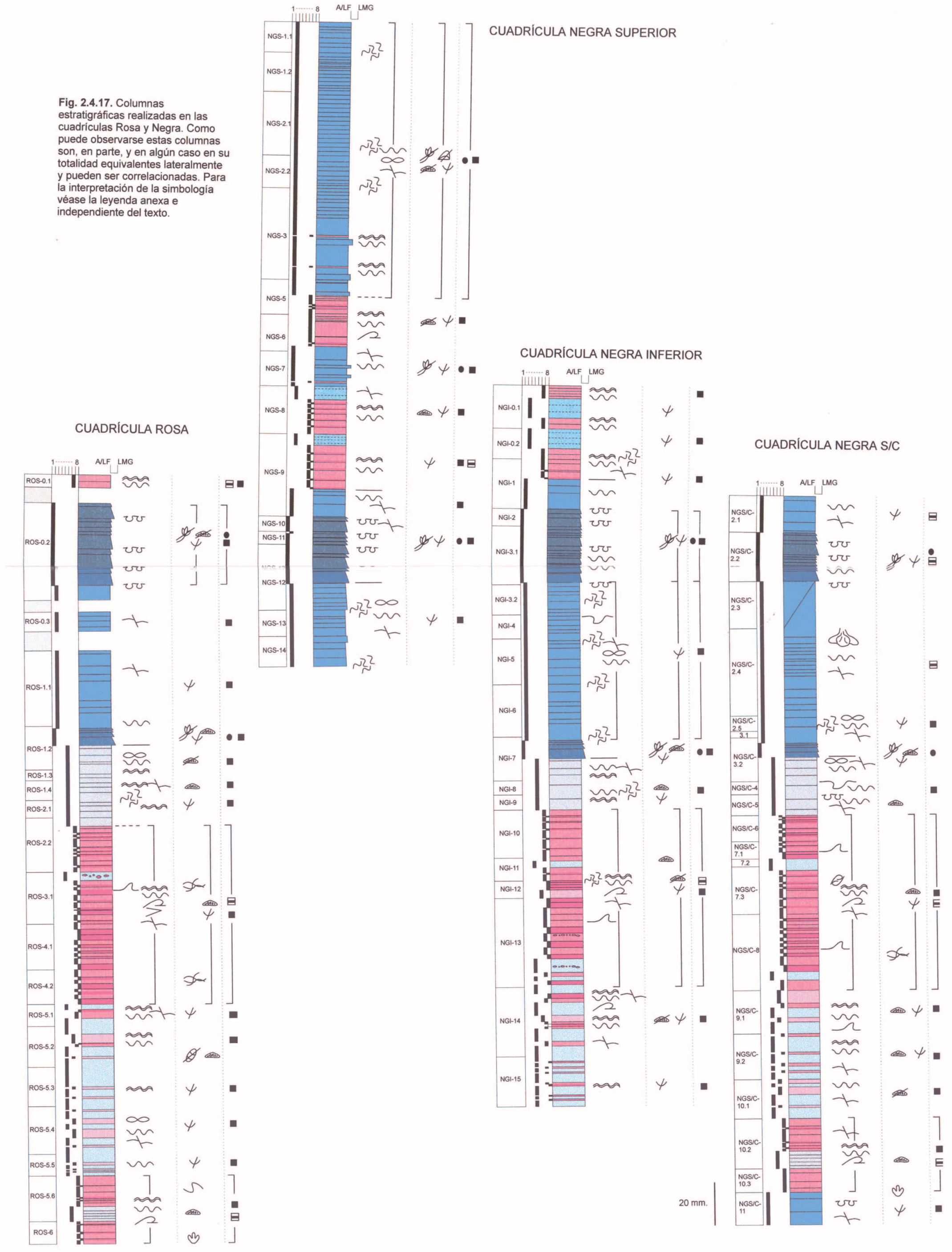


Fig. 2.4.16. Columna estratigráfica de la Cuadrícula Amarilla. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

Fig. 2.4.17. Columnas estratigráficas realizadas en las cuadrículas Rosa y Negra. Como puede observarse estas columnas son, en parte, y en algún caso en su totalidad equivalentes lateralmente y pueden ser correlacionadas. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.



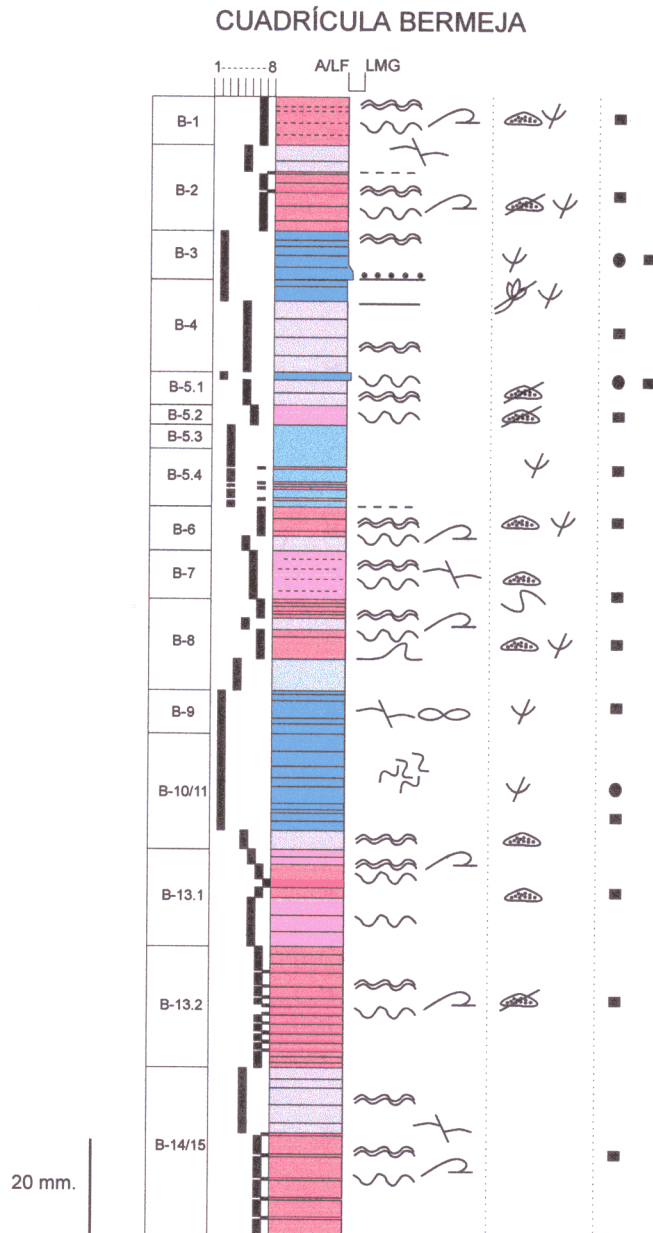


Fig. 2.4.18. Columna estratigráfica de la Cuadrícula Bermeja. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

CUADRÍCULA NARANJA

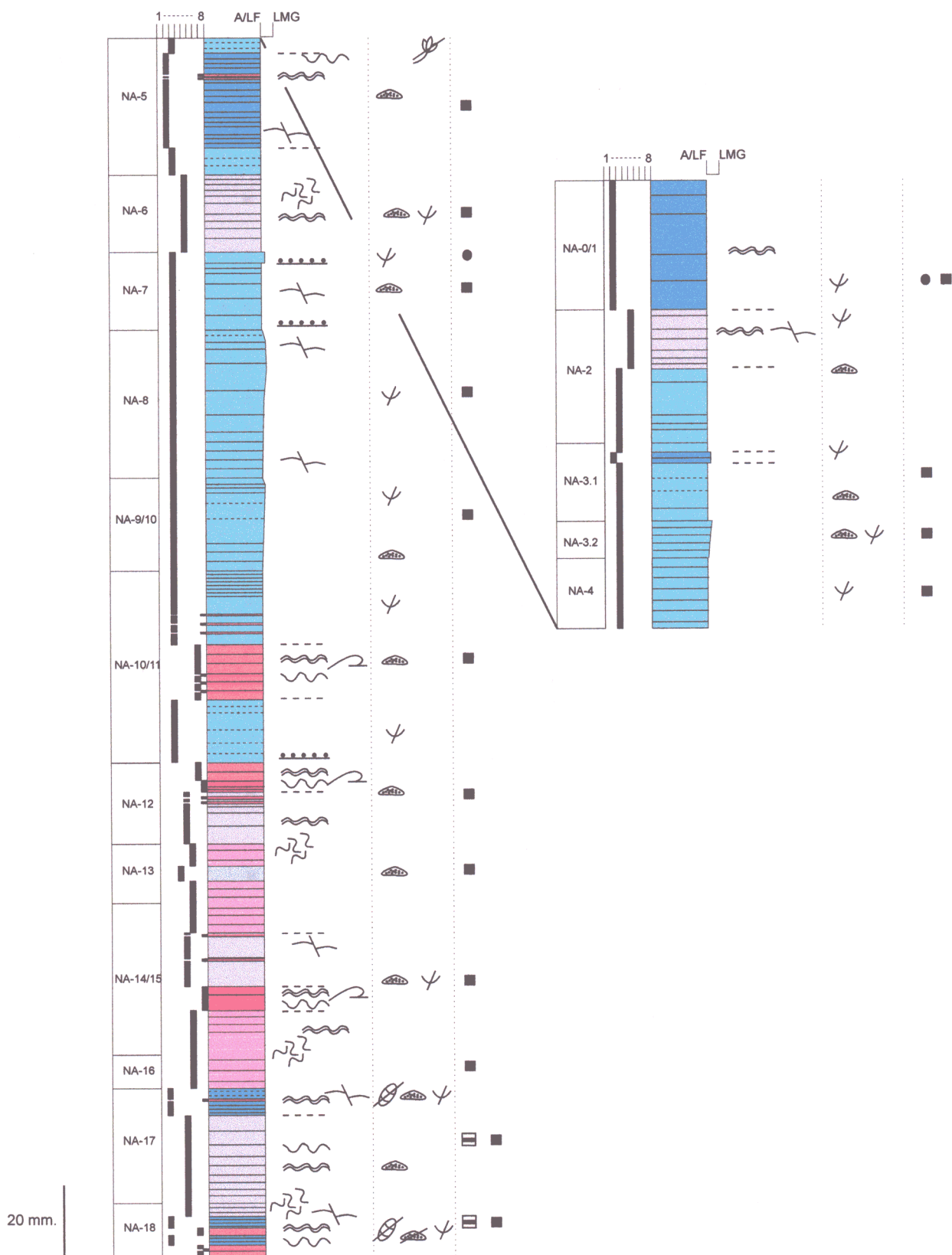


Fig. 2.4.19. Columna estratigráfica de la Cuadrícula Naranja. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

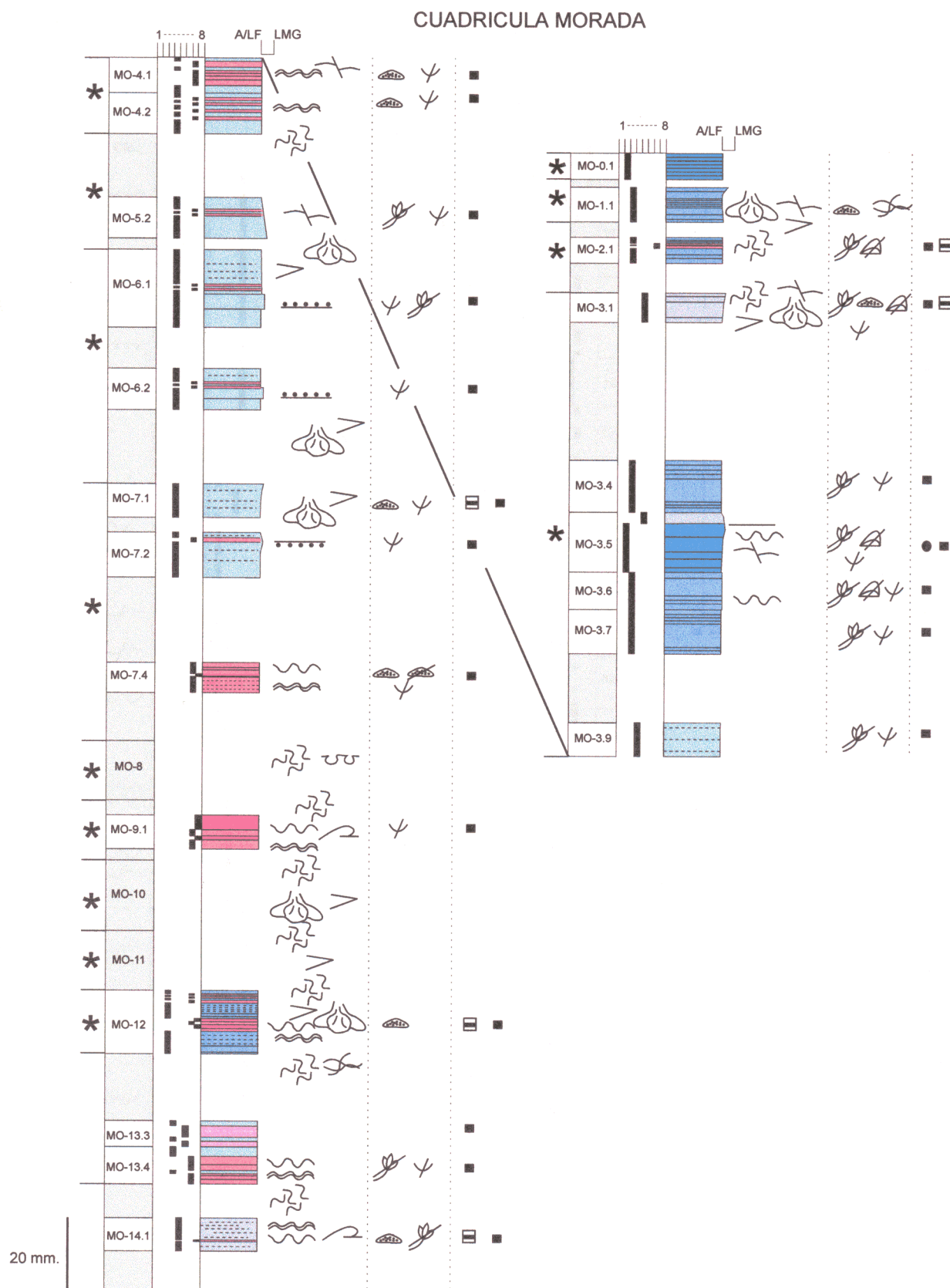


Fig. 2.4.20. Columna estratigráfica de la Cuadrícula Morada. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

CATA 1

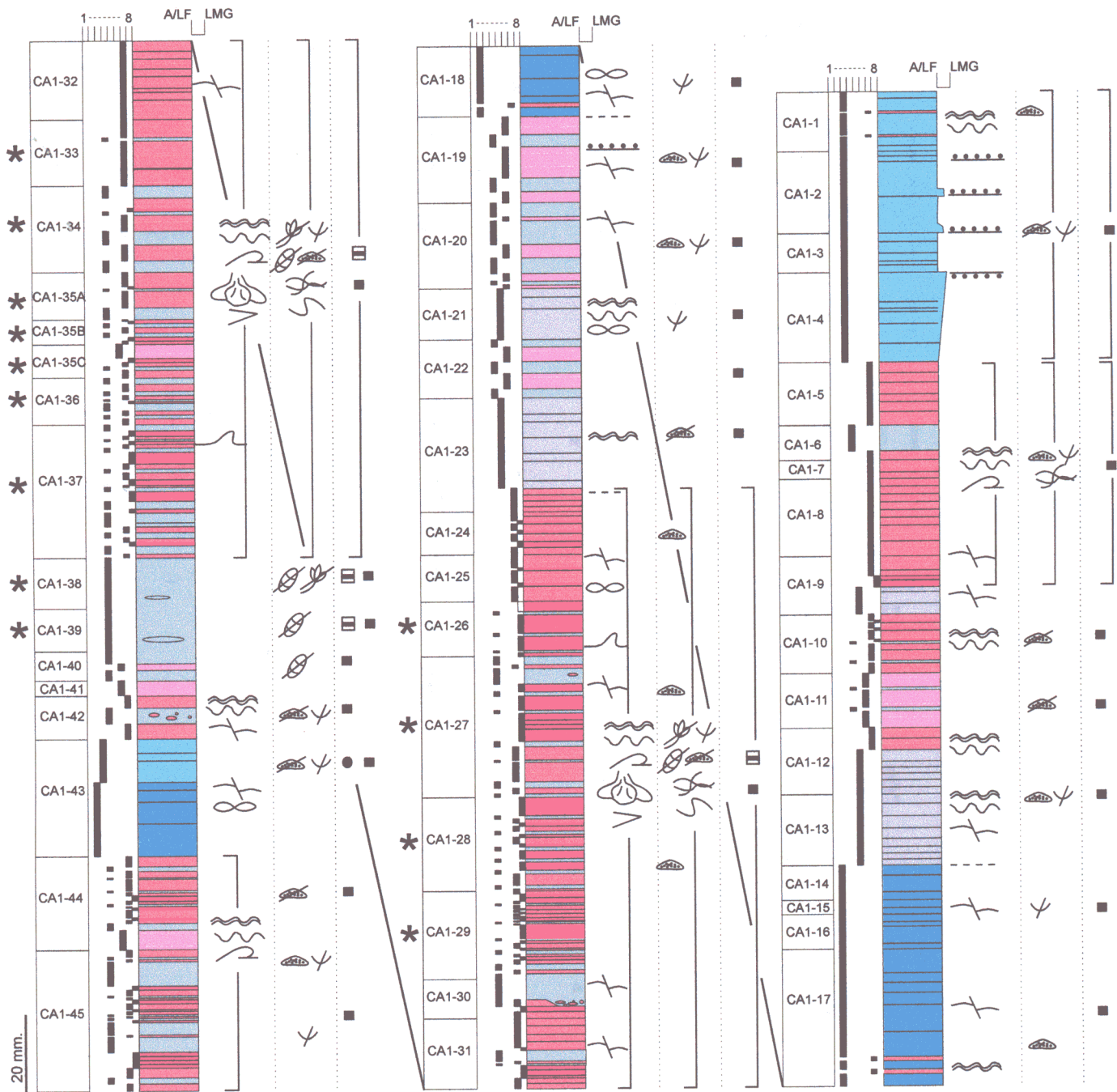


Fig. 2.4.21. Columna estratigráfica de la Cata 1. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

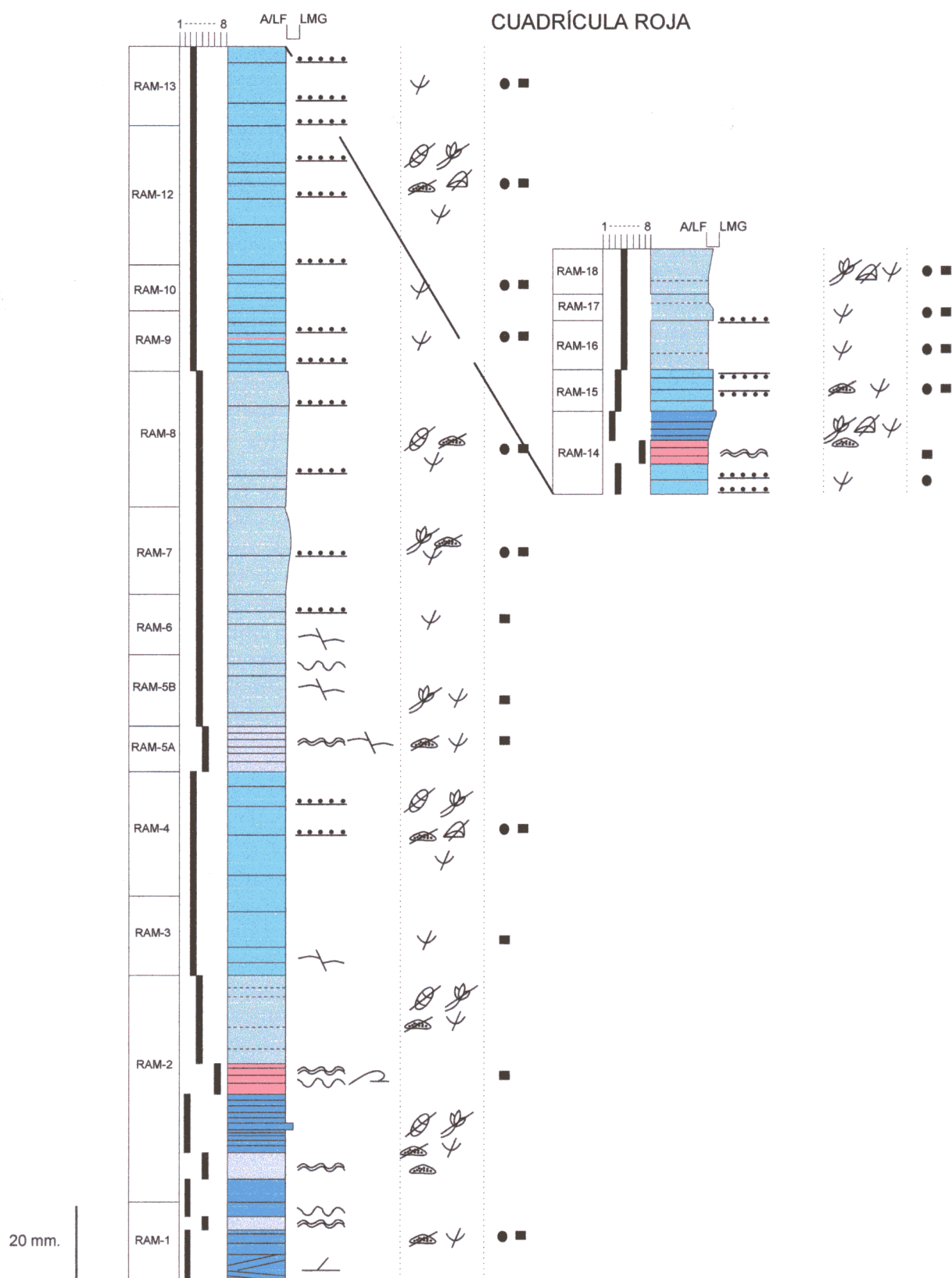


Fig. 2.4.22. Columna estratigráfica de la Cuadrícula Roja. Para la interpretación de la simbología véase la leyenda anexa e independiente del texto.

Las columnas de las cuadrículas Azul (Lámina VII.1; Lámina IX.1) y Verde y de Cata 2 no han sido incluidas aunque su estudio ha contribuido al establecimiento y descripción de las diferentes microfacies. Su exclusión se debe a la imposibilidad, por el momento, de localizarlas estratigráficamente, no observándose en ellas la presencia de microfacies significativamente diferentes de las que se pueden describir en las otras columnas ni patrones de ciclicidad o secuencialidad diferentes, aunque indudablemente y en la medida en que los trabajos de excavación sigan progresando, la información que estas columnas suministran podrá ser entendida plenamente y relacionada con el contexto.

A pesar de las peculiares características de estas columnas se ha intentado que el sistema de representación gráfica sea lo más parecido posible al sistema de representación de cualquier columna estratigráfica realizada sobre el terreno.

En la representación se han combinado datos tomados a escala macroscópica, durante la excavación y el muestreo, con la información obtenida a escala microscópica que corresponde con la mayoría de los datos representados.

Para la representación de las microfacies se han utilizado un gráfico de barras sobre una escala dividida en ocho partes, una para cada microfacies, dibujada en la columna que habitualmente se utiliza para los símbolos litológicos, y un código de color que aparece en la columna que se destina a representar la geometría de los cuerpos sedimentarios y estructuras internas, sobreimpuesto al dibujo de dichas

estructuras internas. El uso de este código de colores pretende transmitir la idea de la existencia de relaciones genéticas y de un espectro de variaciones graduales entre las facies utilizando una misma gama de colores que varían progresivamente, con dos extremos muy bien diferenciados y una serie de términos intermedios más o menos próximos a cada uno de los extremos.

La leyenda se puede encontrar anexa a este volumen y no ha sido encuadrada con objeto de facilitar su manejo en la lectura de la representación gráfica de las columnas. Se ha considerado que la mejor manera de expresar de forma descriptiva, clara y gráfica el significado de cada uno de los colores utilizados o, lo que es lo mismo, las características de cada una de las microfacies que se han identificado y representado en las columnas, era utilizar fotografías en las que apareciera un ejemplo típico de cada una de ellas. Así la leyenda contiene ocho fotografías, cada una corresponde a una microfacies distinta y aparece junto a un cuadro con el color que la representa en el dibujo de las columnas. Además se ha utilizado una leyenda de símbolos complementarios basada en la recomendada por Stow y Piper (1984) para la representación de columnas de sedimentos de grano fino. Aunque estos autores proponen dicha leyenda especialmente para turbiditas de grano fino de medios profundos, en las series estudiadas en este trabajo, compuestas en cualquier caso por sedimentos de grano fino, se han reconocido gran parte de las estructuras y elementos sedimentarios que figuran en la leyenda propuesta por Stow y

LÁMINA VIII

1 y 2. Vista general y detalle del rastro de un cocodrilo, probablemente un representante del género

Goniopholis, encontrado en el nivel basal del intervalo estratigráfico excavado en la Cuadrícula Negra. Para localización en el yacimiento ver figuras 2.4.14 y 2.4.15.

3. Plano de techo de una de las capas excavadas en la Cuadrícula Negra (capa 13) con posibles estructuras de bioturbación.

4. Plano de base del intervalo estratigráfico excavado en la Cuadrícula Amarilla que se muestra como una superficie irregular debido a deformación sinsedimentaria.

5. Vista de uno de los planos de estratificación excavados en la Cuadrícula Negra sin estructuras apreciables a escala de campo, mostrando el característico diaclasado que afecta al litosoma laminado del yacimiento de Las Hoyas en su conjunto.

6. *Slump* situado en los niveles infrayacentes a los excavados en la Cuadrícula Morada, cuya base corresponde a la capa laminada situada inmediatamente por encima de la estructura.

1

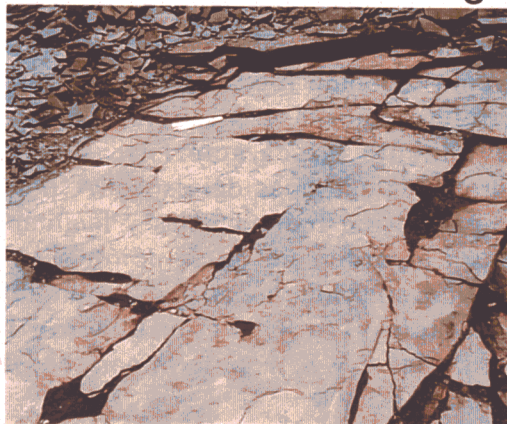


2

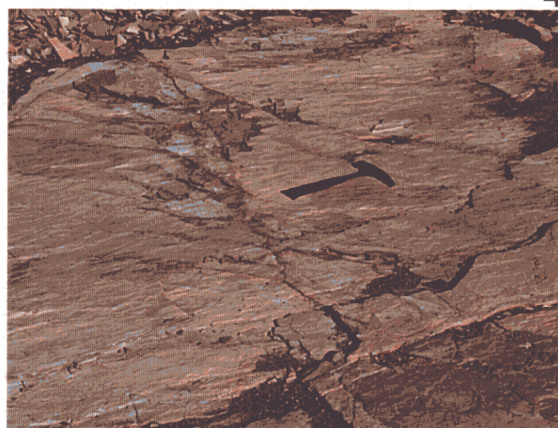


Lámina VIII

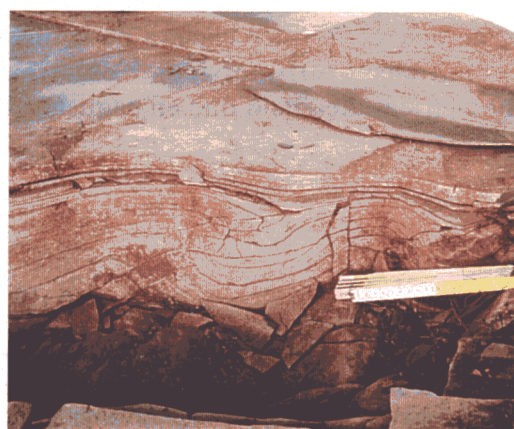
3



4



5



6

Piper (1984) por lo que ésta ha resultado muy útil.

En los siguientes apartados se realiza la descripción e interpretación de las microfacies y una aproximación al establecimiento de la existencia de un ordenamiento secuencial y cíclico de las microfacies y a los posibles mecanismos responsables de estos.

2.4.4.2 Descripción e interpretación de las microfacies

Se han reconocido un total de ocho microfacies diferentes de calizas finamente laminadas que se describen e interpretan a continuación.

Microfacies 1. Dobletes carbonáticos milimétricos clásticos, gradados con bases deformadas y erosivas.

Microfacies 2. Dobletes carbonáticos submilimétricos clásticos, con empaquetamiento denso, gradados y asimétricos.

Microfacies 3. Láminas carbonáticas, milimétricas a centimétricas, clásticas, simétricas.

Microfacies 4. Láminas carbonáticas milimétricas a centimétricas clásticas, masivas.

Microfacies 5. Intercalación de láminas carbonáticas milimétricas clásticas homométricas, de grano fino en paquetes de

dobletes carbonáticos submilimétricos y milimétricos clásticos y gradados.

Microfacies 6. Alternancia submilimétrica de láminas carbonáticas clásticas masivas y láminas carbonáticas compuestas por clásticos homométricos, de grano fino a grueso.

Microfacies 7. Paquetes carbonáticos laminados, milimétricos a centimétricos, clásticos, homométricos de grano fino, con estructuras de corriente.

Microfacies 8. Paquetes carbonáticos laminados, milimétricos a centimétricos, clásticos, homométricos, de grano grueso, fuertemente deformados.

Como ya se ha mencionado estas ocho microfacies constituyen un espectro continuo de facies genéticamente relacionadas con términos extremos bien diferenciados y términos intermedios. Las microfacies 1 a 4 constituyen uno de los extremos, las microfacies 7 y 8 son el otro extremo, mientras que las microfacies 5 y 6 presentan caracteres mixtos procedentes de ambos extremos. Debido a esto la descripción de las microfacies 5 y 6 requiere conocer previamente las características de las microfacies extremas del espectro, por lo que para evitar redundancias y facilitar la lectura el orden de descripción será el siguiente: en primer lugar se describirán las microfacies 1 a 4, a continuación las microfacies 7 y 8, y se terminará con las microfacies 5 y 6.

LÁMINA IX

1. Detalle de una estructura de *slump* situada en la sucesión de facies laminadas de la Cuadrícula Azul.

2 y 3. Vistas del perfil total excavado en la Cuadrícula Naranja en el que se ha levantado su correspondiente columna estratigráfica (Fig. 2.4.19). En ambas fotografías se puede ver la numeración adjudicada en campo a las sucesivas capas excavadas. La numeración crece de techo a base y es correlativa con el siglado de las láminas delgadas a partir de las que se ha descrito la columna.

5. Aspecto del perfil excavado en la Cuadrícula Negra sobre el que se ha realizado su correspondiente columna estratigráfica (Fig. 2.4.17). Al igual que en las fotografías anteriores se puede ver la numeración de las capas correlativa con las siglas de las láminas delgadas estudiadas para reconstruir la sucesión estratigráfica a escala milimétrica.

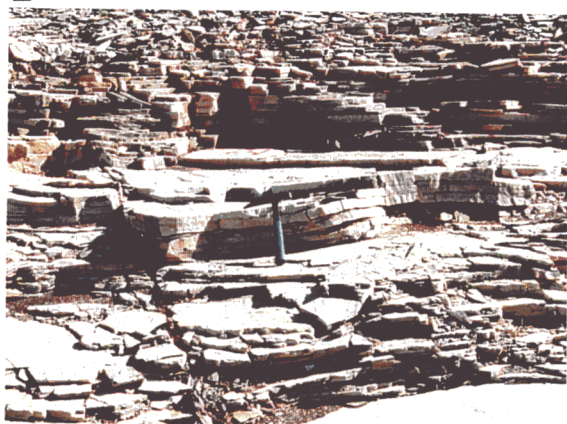
6. Detalle del aspecto que presentaba la Cuadrícula Negra una vez abierta y preparada e inmediatamente antes del comienzo de su excavación.

Lámina IX

1



2



3



4



5



6



Microfacies 1. Dobletes carbonáticos milimétricos clásticos, gradados con bases deformadas y erosivas

Descripción. Esta microfacies consiste en paquetes que varían de 1.5 a 8 mm de espesor, que muestran gradación positiva y están constituidos por dos términos diferentes que conforman un doblete con paso gradual entre los dos términos. La base de los paquetes suele ser irregular, observándose habitualmente la presencia de huellas de carga. En ocasiones, estas bases son ligeramente erosivas sobre los términos infrayacentes.

El término inferior está compuesto, generalmente, por una gran cantidad de pequeños fragmentos bioclásticos, en la mayor parte de los casos no identificables, fragmentos de carófitas y de ostrácodos, restos vegetales, fragmentos de cutícula de crustáceos y diminutos peloides intraclásticos empastados por fango micrítico de grano muy fino con manchas de óxidos de hierro, que suele contener algo de arcilla y de materia orgánica indiferenciada. Los restos de mayor tamaño y más fácilmente identificables se concentran en la base, siendo común que los fragmentos vegetales alargados aparezcan alineados, paralelos a la laminación. Hacia el techo disminuye el tamaño de los componentes clásticos siendo progresivamente más abundante el fango micrítico, que constituye la totalidad del segundo término del doblete. La gradualidad del paso del primer término al segundo del doblete es variable y en muchas ocasiones la transición es extremadamente delgada (Fig. 2.4.23). El segundo término es masivo aunque, a veces, se observan hacia el techo del mismo unas delgadísimas pasadas submilimétricas de color blanco nuevamente constituidas por pequeñísimos fragmentos clásticos en un empaquetamiento muy denso. Esta última parte del doblete se asemeja a la Microfacies 2 (ver fotografías en la leyenda anexa), con las que normalmente se asocia la Microfacies 1 que se está describiendo y con la que se encuentra genéticamente ligada (Fig. 2.4.23), por lo que probablemente, en realidad se trata de una pequeña intercalación de dicha microfacies.



Fig. 2.4.23. Asociación de las microfacies 1 (en la parte inferior de la fotografía) y 2 (en la parte superior de la fotografía). Nótese cómo a diferencia de la fotografía que aparece en la leyenda anexa, los límites entre los dobletes de la Microfacies 2 son ondulados e irregulares. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

Ocasionalmente se han observado dobletes como los descritos aquí pero con gradación inversa, pero sólo se ha visto esta variedad en las facies laminadas de una secuencia distinta a la del yacimiento de Las Hoyas .

Los dobletes raramente aparecen aislados. Suelen agruparse en microsecuencias de sucesivos dobletes en conjunto granodecrecientes y laminadecrecientes. A medida que el tamaño de grano y el espesor decrecen en la microsecuencia, decrece también la presencia de estructuras de carga en las bases de los dobletes y éstas dejan de ser erosivas sobre el doblete infrayacente.

A escala macroscópica se pueden llegar a reconocer niveles de este tipo que en su mayoría suelen estar formados por acumulaciones de restos vegetales de mayor tamaño que el observado en los niveles microscópicos, siendo ligeramente limosos.

En estos casos los niveles no suelen superar los 5 mm de espesor y muestran una morfología en pequeños lentejones de 5 a 10 cm de ancho que rellenan pequeñas depresiones alargadas en superficies que presentan una morfología irregular ondulada, con un patrón similar, aunque obviamente a pequeñísima escala, al que daría la planta de una red de canales que se ramifican y subdividen, como en las partes distales de un abanico turbidítico. Esto es puramente descriptivo y no se pretende que esta última descripción tenga connotación interpretativa alguna.

Esta microfacies aparece, en todos los casos, asociada con la Microfacies 2 y solamente ha sido observada en las columnas de la Cuadrícula Amarilla (Fig. 2.4.16) y en las columnas de la Cuadrícula Rosa y la Cuadrícula Negra (Fig. 2.4.17). En este último caso estos niveles han sido utilizados para correlacionar ambas cuadrículas, ya que se han podido reconocer e identificar fácilmente, uno a uno, en la extensión que ambas cuadrículas cubren. Esta correlación permite también inferir que la continuidad lateral de los mismos es, en este caso, de, al menos, 12 m, observándose una ligera disminución en el espesor desde la Cuadrícula Rosa hacia la Cuadrícula Negra, es decir, en sentido NE-SO. También se ha observado que algunos de los niveles se amalgaman lateralmente en el mismo sentido en que disminuyen de espesor.

Interpretación. La composición de estos niveles y las estructuras que presentan indican, de entrada, que se trata de depósitos detríticos resedimentados.

Tanto los fragmentos bioclásticos como los peloides intraclásticos, que constituyen la mayor parte del sedimento, pudieron ser producidos en áreas litorales del propio lago y resedimentados posteriormente o bien pudieron proceder de aportes externos y haber sido originalmente producidos en las áreas palustres y charcas que rodearon el lago.

Los límites netos entre los sucesivos dobletes indican que cada doblete se debe a un evento sedimentario independiente de transporte y sedimentación.

La presencia de estructuras de carga en la base de los dobletes implica que la sedimentación fue rápida, mientras que la sucesión de estructuras internas (término inferior detrítico gradado y término superior fangoso, micrítico, masivo) indica que se pudieron formar por deceleración brusca de un flujo turbidítico de baja densidad (Banerjee, 1977). Aunque dado el tamaño de grano de los depósitos en el caso de haber sido transportados por un flujo turbidítico estos sedimentos formarían parte de la carga en suspensión del mismo.

El tamaño de las partículas del término inferior del doblete (que varía desde tamaño arena muy fina en los niveles macroscópicos a tamaño limo en los niveles microscópicos) está en función tanto del espectro de tamaños de grano y la cantidad de fango disponibles en el lugar de origen del sedimento como de la intensidad del proceso. En concreto la cantidad de fango determina la cantidad de carga en suspensión y el espesor del depósito (Glenn y Kelts, 1991), de modo que el espesor de los dobletes no está ligado a la energía o la intensidad de la corriente, sino que probablemente es función del tiempo transcurrido entre dos eventos sucesivos de formación de este tipo de depósitos (Glenn y Kelts, 1991), tiempo en el que se acumularían en su lugar de origen los sedimentos susceptibles de ser posteriormente transportados y resedimentados.

En el caso estudiado los niveles macroscópicos y los niveles microscópicos de mayor tamaño de grano son los que se asocian al desarrollo de morfologías erosivas y por tanto los que corresponden a los de mayor energía, habiéndose observado que este hecho es efectivamente independiente del espesor del doblete o nivel concreto.

Todo el conjunto de características composicionales, texturales y estructurales son diagnósticos de turbiditas distales de grano fino (Stow y Piper, 1984), depósitos producto de resedimentación por corrientes turbidíticas de baja densidad que deceleran rápidamente.



Fig. 2.4.24. Estructura de deformación sinsedimentaria, en este caso *loop-bedding*, afectando a un doblete de la Microfacies 2. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

Existen varias alternativas para explicar el origen de estas corrientes. El primero sería la entrada, en el cuerpo de agua lacustre, en momentos de avenida, de corrientes cargadas de sedimentos que se comportarían como *underflows* y que depositarían la carga de tamaño de grano más fino en las áreas más distales y centrales del lago por deceleración brusca, debido a un cambio en la pendiente. El segundo mecanismo sería el transporte de sedimentos producidos y/o acumulados en las áreas litorales. Diferentes procesos pueden actuar como desencadenantes del flujo denso y el transporte o avalancha de sedimentos desde el medio litoral a medios más distales: movimientos sísmicos, la propia sobrecarga en sedimentos de la plataforma litoral puede inducir un desplazamiento desencadenado por simple gravedad, o el desarrollo de una tormenta o sucesión de tormentas puede removilizar sedimentos litorales y desencadenar corrientes internas al lago que transporten sedimentos hacia las áreas de cuenca. Es difícil pensar que los movimientos sísmicos y las avalanchas gravitacionales produjesen un ordenamiento secuencial cíclico como el que se observa en los depósitos estudiados, ya que sería esperable un comportamiento

estocástico de estos procesos, y un ordenamiento menos regular de las secuencias de facies. Por otra parte las sismitas tienen una serie de características propias (Seilacher, 1984, 1991) que no se observan en este caso. Es más plausible, por tanto, que estos depósitos se relacionen con el desarrollo de sucesivas tormentas.

En general, en los intervalos estudiados, estos depósitos presentan un ordenamiento en sucesivos dobletes grano y láminadececientes. Si las asunciones explicadas anteriormente acerca de los mecanismos que controlan el espesor de los dobletes es cierta, los paquetes de dobletes observados corresponderían a depósitos de etapas de sucesivas tormentas próximas temporalmente, es probable que a un conjunto de tormentas estacionales, de manera que la cantidad de sedimentos disponible en el área fuente iría disminuyendo, ya sea en el litoral lacustre o en el lecho de los cauces efímeros que hubieran podido descargar en el lago.

Tanto las avenidas y la consiguiente entrada de corrientes cargadas de sedimentos en el cuerpo de agua lacustre, como las tormentas, podrían explicar la

formación de estos dobletes y en última instancia ambos mecanismos se encontrarían íntimamente ligados.

La presencia de *underflows* y depósitos turbidíticos en medios lacustres de cuenca es muy común y está ampliamente documentada en la literatura en los estudios de todo tipo de lagos (Ludlam, 1974; Lambert *et al.*, 1976; Sturm y Matter, 1978; Hsü y Kelts, 1978; Lambert y Hsü, 1979; Dyni y Hawkins, 1981; Glenn y Kelts, 1991; Smoot y Olsen, 1994; Harris *et al.*, 1994; Talbot y Allen, 1997, entre muchos otros).

Microfacies 2. Dobletes carbonáticos submilimétricos clásticos, con empaquetamiento denso, gradados y asimétricos

Descripción. Como la microfacies anterior, esta microfacies está formada por dobletes, cuyo espesor varía, en este caso, entre 0.1 y 2 mm. Estos dobletes están formados por una lámina clara compuesta por fragmentos clásticos, mayoritariamente bioclásticos, de tamaño de grano extremadamente fino y con un empaquetamiento muy denso y con proporciones variables de fango micrítico y una lámina de composición totalmente micrítica de color oscuro. Esta alternancia le confiere a esta microfacies un inconfundible aspecto varvado (ver fotografía en la leyenda anexa). El paso entre los dos términos suele ser gradual, siendo también, en ocasiones, gradual el paso entre dobletes, aunque, en general, las bases suelen ser netas, si bien se observan tanto bases planas como onduladas (Fig. 2.4.23).

Las dos láminas del doblete pueden presentar el mismo espesor o predominar cualquiera de los dos, no existiendo una norma general a este respecto ya que depende de la posición secuencial que ocupe el doblete. A este respecto se pueden observar varios tipos de organización o de disposición secuencial en el agrupamiento de los paquetes o conjuntos de dobletes.

1. Agrupamiento en paquetes de dobletes en los que predomina el término claro. Los términos claros son

láminas decrecientes hacia el techo, mientras que el espesor del término oscuro se mantiene o aumenta ligeramente hacia el techo. Cada paquete o conjunto de dobletes está separado del siguiente por una lámina oscura más potente. Esta es la organización más regular que puede llegar a presentar esta microfacies.

2. Agrupamiento en paquetes en los que predominan netamente los términos oscuros. En estos casos la organización no suele ser tan regular o rítmica. Suelen presentar un término oscuro potente y desproporcionado, aunque en éste pueden observarse algunas pasadas claras discontinuas, lo que puede estar indicando que se trata del amalgamamiento de sucesivos dobletes en los que el término inferior claro está excesivamente reducido o totalmente ausente.

3. La última forma de organización, por otra parte muy común, es la más irregular ya que los agrupamientos no contienen más de dos o tres dobletes, por lo que resulta difícil establecer una tendencia definida, encontrándose múltiples combinaciones posibles, por ejemplo puede observarse una sucesión de tres dobletes láminas decrecientes con predominio del término claro al que sucede un único doblete con una potente lámina oscura y por encima del cual se reconoce un conjunto de dos o tres dobletes láminas decrecientes con predominio del término claro. En otras ocasiones no se llegan a reconocer agrupamientos sino una sucesión de dobletes con potencias y organización interna irregular. En todos estos casos es normal que los límites entre dobletes y paquetes de dobletes sean irregulares y ondulados.

Es muy común encontrar asociadas a esta microfacies estructuras de deformación sinsedimentarias, pequeñas fracturas, deformación hidrolástica, estructuras de *loop-bedding* (Fig. 2.4.24) y *microslumps*. A escala macroscópica es destacable la presencia de una estructura cuya interpretación es enigmática. Está compuesta por lo aquí se han denominado «arrugamientos» (Fig. 2.4.25), ya que ese es exactamente el aspecto que tienen. Aparecen en los techos

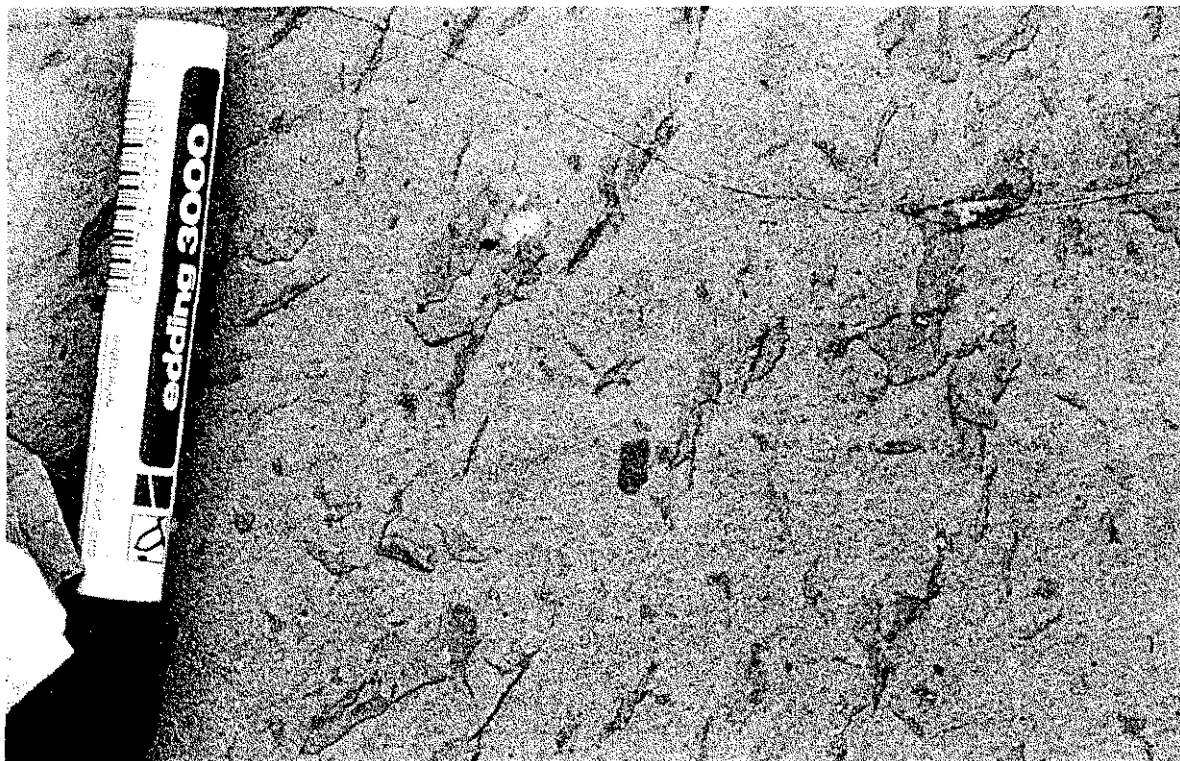


Fig. 2.4.25. Detalle de campo de las estructuras que en este trabajo se han denominado «arrugamientos» y que se desarrollan en los planos de techo de las capas.

de las láminas y son arrugas lineales o ligeramente onduladas, asimétricas, cuyo tamaño puede ir desde los 5 a los 20 mm de longitud de media y que se disponen al azar o alineadas según una dirección preferente, ocurriendo esto en los casos en que presentan mayor tamaño. En muchas ocasiones y debido a la descamación de las láminas superficiales presentan un aspecto parecido a pequeñas grietas.

La Microfacies 2 suele aparecer asociada a la Microfacies 1 (Fig. 2.4.23), observándose en algunos casos una relación de paso gradual entre ambas y en los dos sentidos, es decir, pasos graduales de la Microfacies 1 a la Microfacies 2 y viceversa. También se suele asociar a la Microfacies 3 y a la Microfacies 5 que se considera transicional entre la Microfacies 2 y la Microfacies 7.

En mayor o menor proporción aparece en todas las columnas. En las columnas basales (Cuadrícula Amarilla, Cuadrícula Rosa y Cuadrícula Negra) se asocia fundamentalmente a la Microfacies 1, mientras que en las columnas del resto de las cuadrículas aparece asociada con la Microfacies 3 y la Microfacies 5.

En su asociación con la Microfacies 3 llega a constituir una variedad que ha sido reconocida en una única ocasión, en la columna de la Cuadrícula Roja (Fig. 2.4.22). Se trata de un nivel en el que se observan paquetes muy parecidos a los que constituyen la Microfacies 2 y paquetes composicional y texturalmente similares a los que se describirán en las microfacies 3 y 4, y que en conjunto muestran una estructura de laminación cruzada de bajo ángulo (Fig. 2.4.26). El nivel tiene un espesor de 8 cm. Aunque en realidad podría considerarse que constituye una microfacies diferente, dado lo anecdótico de su aparición se ha preferido considerarla, por el momento, como una variedad mixta, con características de las microfacies 2, 3 y 4 y con una estructura que no se ha observado en ninguna otra de las muestras de facies laminadas fosilíferas estudiadas.

Interpretación. Tanto las características de esta microfacies como su comparación con depósitos similares descritos en la literatura permiten barajar varias alternativas posibles para su interpretación.

1. La composición del sedimento es muy similar a la de la Microfacies 1. Dado el menor tamaño de grano, la naturaleza de los fragmentos es difícilmente identificable. Sin embargo se piensa que el origen del sedimento debe ser similar, en cuanto a su producción.

La estructura gradada, el tamaño de grano y los límites netos entre dobletes son características que permiten inferir que se trata de sedimentos decantados, en los que cada doblete representaría un evento de sedimentación independiente.

Dada su asociación con la Microfacies 1 cabría extender esta interpretación diciendo que se trata de depósitos de decantación de las fracciones más finas de los sedimentos removilizados y puestos en suspensión durante episodios de tormentas, en los que cada doblete podría corresponder a una tormenta y que se depositarían en áreas relativamente más distales que la Microfacies 1.

Durante estos episodios de tormenta se podrían poner en marcha varios mecanismos que llevarían a la formación de estos depósitos y que explicarían el origen del sedimento: la resuspensión de la fracción más fina de los sedimentos producidos y/o acumulados en las áreas litorales que decantan en las áreas más distales de la cuenca lacustre; la decantación de *overflows* que entran en el lago por medio de corrientes superficiales de aporte externo durante las avenidas ligadas a las etapas húmedas de tormentas; la decantación de los sedimentos transportados por el viento y atrapados en la superficie de la lámina de agua, estando, probablemente, ligado este transporte eólico también a la etapa de tormentas.

Los espesores de los dobletes estarían, al igual que en el caso de la Microfacies 1, en función de la cantidad de sedimento disponible en el área de origen del mismo y del tiempo transcurrido entre cada evento de sedimentación. Dado el pequeño espesor de los dobletes es probable que estos se deban a secuencias de alta frecuencia de tormentas. Este mecanismo explicaría las

diferentes organizaciones secuenciales observadas.

Existen sedimentos con características similares descritos en la literatura. Depósitos parecidos que presentan el mismo aspecto varvado, laminación a escala milimétrica y tamaños de grano similares, aunque las láminas presentan una composición diferente, habían sido observados en los sedimentos más profundos del lago Walensee en Suiza y tradicionalmente interpretados como varvas estacionales, aunque el desarrollo de varios experimentos y observaciones directas permitieron establecer que en realidad se trataba de los depósitos más distales de corrientes de fondo de tipo *underflows* o flujos turbidíticos (Lambert y Hsü, 1979).

Aunque en un contexto sedimentario completamente diferente una asociación sumamente parecida a la de las microfacies 1 y 2 de este trabajo se observa en depósitos interpretados como submareales a intermareales bajos del Cretácico Inferior del este de Texas (Loucks y Longman, 1982). En este caso se trata de *mudstones* limosos y arcillosos laminados compuestos por ostrácodos y peloides y pequeñas cantidades de cuarzo y arcillas organizados en dobletes con granoselección muy similares a los de la Microfacies 1 y paquetes de delgados dobletes submilimétricos muy similares a los de la Microfacies 2. Estas facies han sido interpretadas como depósitos de tormenta, bien sedimentadas por corrientes originadas por la tormenta o bien como el producto del retrabajamiento y la resedimentación de un fango homogéneo previo sin transporte significativo (Loucks y Longman, 1982). En este caso las facies similares a la Microfacies 2 presentan en ocasiones estructuras de laminación cruzada de ripples. Aunque en el caso de nuestro estudio esto no es lo más común, recuérdese la existencia de una variedad mixta compuesta por las microfacies 2 y 3 que presenta laminación cruzada (Fig. 2.4.26).

2. La segunda interpretación posible deriva de la comparación con un caso también similar descrito en la literatura e

implica la existencia de una componente biogénica en la formación de los dobletes. Se trata de una asociación igualmente parecida a la de las microfacies 1 y 2 aunque con un tamaño de grano algo mayor (arenita de grano muy fino y lutita) y en un contexto sedimentario muy diferente, aunque mecánicamente ambos depósitos son comparables. Se trata de sedimentos actuales producto de flujos de arroyada laminar (*sheet floods*) debidos a avenidas, depositados en la sabkha costera de Gavish en el Golfo de Arabia (Gerdes y Krumbein, 1987). Estos depósitos presentan un término inferior similar a los sedimentos gradados que componen la Microfacies 1 y un término superior laminado, con alternancia de láminas claras y oscuras con límites ondulados, similar a la Microfacies 2. En este caso la estructura del segundo término se debe a biolaminación por mallas de cianobacterias (Gerdes y Krumbein, 1987) y se trataría, por tanto, de «varvitas biogénicas» (Gerdes *et al.*, 1991).

La existencia de tapices de cianobacterias en los sedimentos laminados del yacimiento de Las Hoyas ha sido observada en varias ocasiones a una escala menor que la de este estudio, en el análisis de muestras al S.E.M (Briggs *et al.*, 1997). Sin embargo, estos tapices no se reconocen a escala macroscópica o a la escala de resolución que permite el microscopio petrográfico. La laminación que presenta la Microfacies 2 es en algunos casos más regular que la que se suele observar en las facies producidas por tapices laminar de cianobacterias, mientras que en otros se reconocen límites irregulares y ondulados, por lo que no se puede descartar la existencia de una componente biogénica en la génesis de esta microfacies. La morfología irregular y ondulada que presentan los límites de los dobletes de algunos intervalos de desarrollo de esta microfacies podrían deberse a la irregularidad del fondo en el que se deposita el sedimento, irregularidad causada por las mallas cianobacterianas. No parece sin embargo que el origen del sedimento esté relacionado, en este caso, con la propia producción biogénica de carbonato. Gerdes *et al.* (1991) aportaron algunos criterios para distinguir los «falsos sedimentos» o

granos de carbonato de aspecto detrítico, pero en realidad de producción algal, de los sedimentos verdaderamente detríticos en «varvitas biogénicas», que habrían sido depositados por otros mecanismos o atrapados mecánicamente por el tapiz. Mientras que los granos de carbonato biogénico presentarían un aspecto de fábrica y composición homogénea, en el caso de verdaderos detritos se observarían granos de diferente naturaleza, tal y como parece ser el caso de este estudio. Siendo así, y aunque las mallas cianobacterianas hubieran aportado o producido parte del sedimento, el principal papel que pudieron haber realizado en este caso es el del atrapamiento mecánico del sedimento decantado.

Otras evidencias independientes han llevado a suponer también la existencia de tapices cianobacterianos relacionados con la Microfacies 2 y en algún caso con otras microfacies.

Se ha descrito y mencionado la existencia de unas estructuras cuya interpretación no ha podido ser establecida con claridad y que aparecen asociadas con mucha frecuencia a la Microfacies 2, lo que se han denominado «arrugamientos» (Fig. 2.4.25).

Una posible interpretación es que estas estructuras sean debidas a la contracción y retracción de tapices cianobacterianos una vez que la colonia ha muerto. Existen estructuras que han sido interpretadas en el registro de forma similar, siendo probablemente las más conocidas las del yacimiento jurásico de Cerin en Francia (Bernier *et al.*, 1991) aunque las dimensiones y morfología son significativamente diferentes de las observadas en el caso de este estudio.

Las dos interpretaciones que se acaban de exponer no son mutuamente excluyentes, de manera que se considera que, en general, la Microfacies 2 es el resultado de la decantación de sedimento puesto en suspensión en las áreas litorales por una sucesión de alta frecuencia de tormentas estacionales o aportado externamente en forma de *overflows*. Aunque se asume que el proceso más importante es la decantación de



Fig. 2.4.26. Variedad mixta de las microfacies 2 y 3 que muestra una estructura de laminación cruzada de bajo ángulo. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

sedimentos en suspensión en la lámina de agua lacustre, parte de estos depósitos podrían estar ligados a flujos turbidíticos de baja densidad muy distales con desarrollo de estructuras de corrientes, lo que podría ser equivalente al término C de la secuencia de Bouma, o bien a corrientes newtonianas con desarrollo de trenes de ripples. El desarrollo de mallas cianobacterianas sobre la superficie deposicional podría ser la causa del aspecto irregular ondulado que algunos paquetes de dobletes presentan y podrían haber actuado como productores de parte del sedimento aunque fundamentalmente realizarían una labor de atrapamiento de las partículas en suspensión.

Microfacies 3. Láminas carbonáticas, milimétricas a centimétricas, clásticas, simétricas

Descripción. Esta microfacies está formada por una sucesión de láminas cuyo espesor oscila entre 1 y 5 mm y que están compuestas por fragmentos clásticos, mayoritariamente bioclásticos (en ocasiones se reconocen fragmentos de

ostrácodos) y peloidales. Esporádicamente contienen restos de ostrácodos totalmente articulados, de 0.1 a 0.5 mm de tamaño y que resaltan claramente sobre el resto de los componentes. El tamaño de grano es variable, desde tamaño limo muy fino a lo limo algo grueso, lo suficiente como para permitir identificar algunos de los componentes. Contienen cantidades variables de fango micrítico, presentando desde un empaquetamiento muy denso, en el que los detritos de mayor tamaño se encuentran en contacto, a un empaquetamiento más abierto, en el que los fragmentos clásticos flotan en fango micrítico (Fig. 2.4.27). Estas láminas aparecen separadas por delgadas pasadas, en general submilimétricas, micríticas, de grano muy fino y continuas y, en algunos casos, muy irregulares y discontinuas. Pueden estar o no gradadas, aunque en general la mayor parte del término presenta un tamaño de grano homogéneo, gradando en la porción terminal y pasando de este modo de forma gradual al delgado término micrítico. El paso a la siguiente lámina suele ser también gradacional, de manera que las bases no son netas, lo cual confiere el

aspecto simétrico a cada una de las láminas que componen esta microfacies (ver fotografía en la leyenda anexa). También es común que se pueda apreciar una tendencia a la laminación interna dentro de la lámina principal, pero muy difusa y discontinua. Esta laminación difusa y difícilmente perceptible viene también definida por la mayor proporción de micrita frente a fragmentos clásticos a determinadas alturas de la lámina principal.

No es frecuente la asociación a esta microfacies de estructuras de deformación sinsedimentaria, exceptuando la aparición de pequeñas fracturas.

A escala de campo se reconocen dos estructuras asociadas a esta microfacies. La primera de ellas se ha descrito para la Microfacies 2 y es la estructura a la que se ha denominado en este trabajo «arrugamientos» (Fig. 2.4.25). La segunda es lo que aquí se llaman «lóbulos», compartiendo esta estructura también con la Microfacies 4. Esta estructura presenta, efectivamente, una morfología de pequeño lóbulo con una planta subtriangular, base plana y techo convexo. La altura no supera nunca los 10 mm y el ancho puede variar desde 3 hasta 25 cm. La superficie es muy irregular y se descama fácilmente en finísimas esquirlas alargadas, paralelas a la dimensión que correspondería a la altura del triángulo al que se circunscribe la planta.

La organización microsecuencial de esta microfacies es muy simple y consiste en el apilamiento de láminas con un espesor relativamente regular y gradadas a base y techo, lo que les confiere un aspecto simétrico, aunque también pueden presentar patrones más irregulares y de aumento o disminución hacia el techo del espesor dependiendo de la microfacies que va a sucederla o que la precede.

Como ya se ha mencionado en la descripción de la Microfacies 2 existe una relación de paso gradual entre ambas, por lo que puede aparecer asociada a ésta con relativa frecuencia. También aparece asociada a la Microfacies 4.

Se reconoce en todas las columnas estudiadas, constituyendo en algunas de ellas un importante porcentaje del espesor total, hasta un 30%. Se han observado intervalos de hasta 20 cm constituidos exclusivamente por esta microfacies o con intercalaciones muy delgadas y esporádicas de la Microfacies 7.

Interpretación. El principal problema que plantea la interpretación de esta microfacies es discriminar si el proceso fundamental de sedimentación fue simplemente la decantación de sedimento en suspensión en la lámina de agua o se trata de depósitos de la carga en suspensión de turbiditas distales de grano fino.

Asumir que estos depósitos resultaron de un proceso de decantación pura a partir de sedimento en suspensión en la lámina de agua lacustre dificulta la explicación de la simetría granulométrica que se observa en la vertical y las laminaciones difusas internas que presentan algunos niveles, aunque no se han reconocido estructuras que indiquen la existencias de procesos tractivos ligados a la génesis de esta facies.

La composición del sedimento es muy similar a la de las microfacies 1 y 2 por lo que el origen del sedimento es probablemente el mismo, material procedente del retrabajamiento y transporte de sedimentos litorales y material introducido dentro del cuerpo de agua lacustre por corrientes superficiales externas en forma de *underflows* o de *overflows* y por tanto aportado y resedimentado en etapas de tormentas y avenidas.

Las diferencias fundamentales que se observan respecto a las microfacies 1 y 2 son la gradualidad de los contactos entre los diferentes niveles y el mayor espesor de las láminas, de lo que se deduce una mayor continuidad en el aporte, o la existencia de flujos continuos, y una mayor disponibilidad de sedimentos en el área fuente que en el caso de la Microfacies 2.

El tipo de laminación observada, que viene definida por las oscilaciones en el

tamaño de grano, ha sido explicada para sedimentos de estructura similar y en contextos también lacustres como debida a variaciones del régimen de flujo en el área fuente fluvial (Wiggins y Harris, 1994) durante una descarga continua de sedimento. En el caso descrito por estos autores, que corresponde a depósitos de la Formación Green River en la Cuenca Uinta de Utah (Estados Unidos), los depósitos son, a diferencia de los estudiados en este trabajo, de composición siliciclástica, el tamaño de grano es mayor, arena fina y limo, y los niveles simétricos tienen un espesor medio de unos 2 cm. Estos depósitos se interpretan como descargas continuas y «pulsadas» en un frente deltaico, sin retrabajamiento por oleaje o erosión, y los intervalos de niveles de este tipo representarían series de tormentas cortas y continuas.

La misma explicación dieron también a este tipo de laminación Lambert y Hsü (1979) para los depósitos de arena fina y limos laminados del lago Walensee en Suiza aportados en forma de flujos densos durante episodios de avenidas. Según estos autores las fracciones más finas, de tamaño limo fino y lutita, de estos sedimentos presentarían, sin embargo, gradación positiva bien definida y la estructura interna de las láminas sería asimétrica.

Dos datos importantes a tener en cuenta son, por una parte, la presencia de los pequeños lóbulos laminares macroscópicos que ya se han descrito, asociados a esta microfacies, y por otra las delgadas intercalaciones de *grainstones* bioclásticos y peloidales gradados con empaquetamiento denso que se observan en la columna de la Cuadrícula Roja asociados a estas facies.

Sería posible interpretar que los mencionados lóbulos se desarrollasen en depósitos terminales y distales de delgados flujos turbidíticos de baja densidad que habrían descargado el sedimento de grano más grueso y transportarían ya sólo el material de grano más fino. Los niveles de grano más grueso intercalados corresponderían

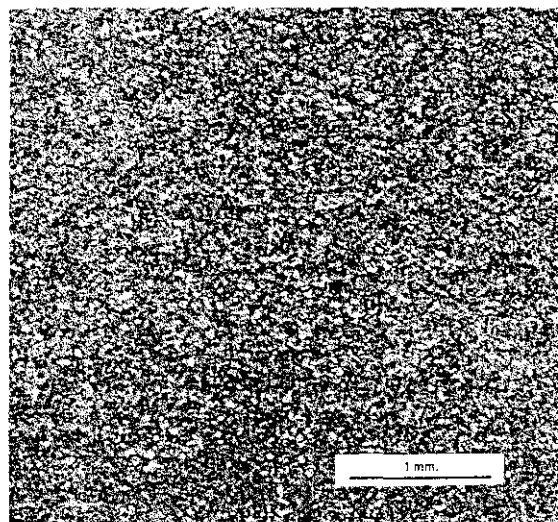


Fig. 2.4.27. Detalle de la composición de los sedimentos que constituyen las microfacies 3 y 4. Obsérvese que estos sedimentos están compuestos por pequeños fragmentos, en su mayoría probablemente bioclásticos, empastados en fango micrítico y arcilloso de color oscuro.

a los depósitos más proximales de dichas corrientes.

Por tanto y finalmente se interpreta que los depósitos de la Microfacies 3 corresponden a la sedimentación distal de la carga de tamaño de grano más fino en suspensión de corrientes turbidíticas de baja densidad. Estas corrientes derivarían de descargas en pulsos continuos, durante etapas de avenida, de sedimentos aportados desde fuera, vertidos dentro del lago y transportados hasta las áreas más distales.

Microfacies 4. Láminas carbonáticas milimétricas a centimétricas clásticas, masivas

Descripción. Esta microfacies está compuesta por láminas relativamente potentes que oscilan entre los 5 y los 15 mm de espesor, en general masivas, y compuestas por fragmentos clásticos de tamaño de grano muy variable, en general, fino (ver fotografía en la leyenda anexa). En algunos casos en que el tamaño de grano es algo más grueso se reconocen fragmentos de carófitas y de ostrácodos, otros fragmentos bioclásticos no identificables, restos vegetales y peloides. Pueden aparecer algunos ostrácodos articulados dispersos y cortes transversales completos de talos de carófitas, ambos de mayor tamaño que el

resto de los componentes clásticos junto a los que aparecen (Fig. 2.4.28). Los componentes se encuentran empastados por fango micrítico de grano muy fino de color marrón oscuro (Fig. 2.4.27).

No suelen presentar gradación clara, salvo en la parte terminal del nivel. En ocasiones se puede reconocer cierta tendencia a una laminación interna muy difusa y apenas perceptible identificable bien por la sucesión de dos intervalos con distintos tamaños de grano o bien por la presencia de una delgadísima y discontinua pasada micrítica de grano muy fino.

Al igual que la Microfacies 3 raramente presentan estructuras de deformación sinsedimentaria, exceptuando algunas fracturas y esporádicas deformaciones hidroplásticas.

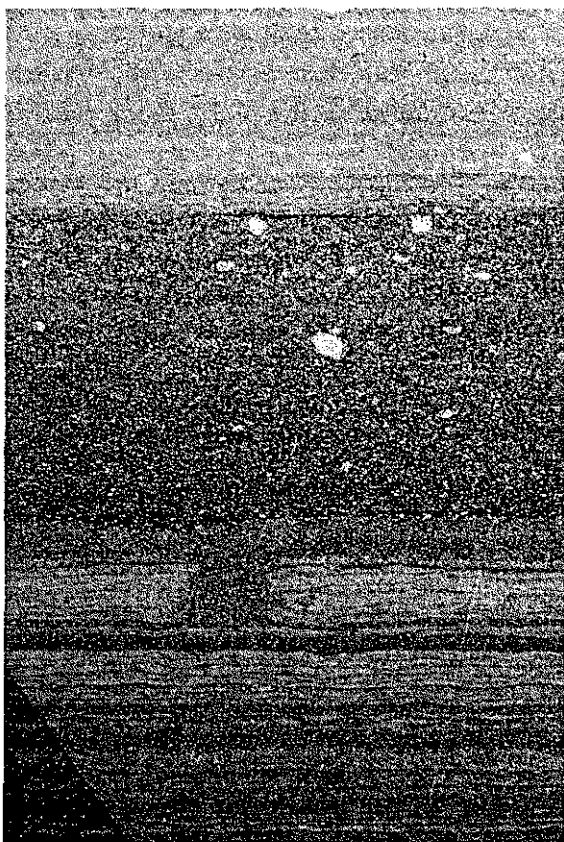


Fig. 2.4.28. Aspecto de una lámina de Microfacies 4 intercalada entre paquetes de microfacies 7 y 8. Obsérvese su aspecto homogéneo y la presencia de fragmentos de talos de carófitas. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

A escala de campo se observa también la presencia de «lóbulos» asociados a esta microfacies idénticos a los que ya han sido descritos para la Microfacies 3.

Aparece en dos tipos de asociaciones diferentes. La primera de ellas con la Microfacies 3. Esta asociación puede observarse en la columna de la Cuadrícula Morada (Fig. 2.4.20) y en la de la Cuadrícula Roja (Fig. 2.4.22).

La segunda asociación consiste en la alternancia de términos de esta microfacies con términos de las microfacies 7 y 8 (Fig. 2.4.28).

Interpretación. Esta microfacies muestra notables similitudes composicionales y granulométricas con la Microfacies 3 por lo que, de entrada, es factible asumir una procedencia similar para el sedimento. Sin embargo, no es muy común observar gradaciones granulométricas bien definidas y las características de la laminación requieren una interpretación diferente. Aunque a escala de lámina individual milimétrica o centimétrica la microfacies muestra una estructura interna masiva, sí se observa una laminación a mayor escala en los intervalos estratigráficos, en ocasiones decimétricos, de aparición de la misma. De la misma manera se pueden observar gradaciones positivas o, en ocasiones, negativas en el conjunto de láminas de dichos intervalos. Esta estructura laminada está indicando que el proceso o la secuencia de procesos formadores se repiten rítmicamente.

Se pueden formular varias hipótesis alternativas en cuanto a la génesis de estos depósitos.

1. En primer lugar, la decantación de material en suspensión en la lámina de agua lacustre procedente de removilización de sedimentos litorales o sedimento aportado por *overflows* o por el viento y atrapado en la superficie de la lámina de agua podría explicar este tipo de láminas, aunque sería esperable que los niveles producto de un proceso de decantación lenta mostrasen una gradación más clara.

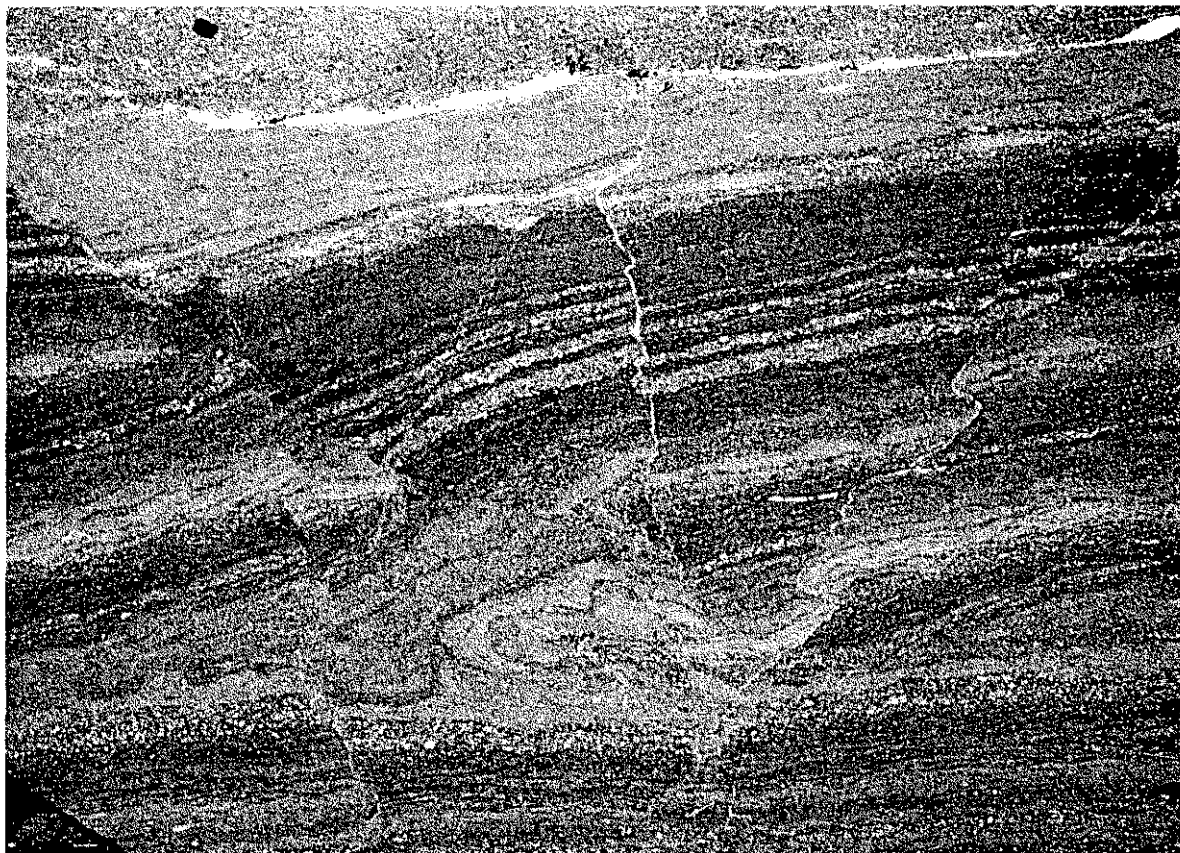


Fig. 2.4.29. Nivel interpretado como una seismita en el que se observa en la parte inferior un término con abundantes estructuras de deformación y en la parte superior de la fotografía la base de un término de composición muy similar a la de la Microfacies 4 masivo y que se interpreta correspondería a la *homogeinita* desarrollada a partir de la licuefacción del sedimento no consolidado. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

2. Otra posible interpretación genética sería el desarrollo de procesos de removilización, homogeneización y resedimentación por decantación de sedimentos laminados previos debido bien a la acción de corrientes de fondo, o bien a la licuefacción del sedimento por sacudidas bruscas debidas a movimientos sísmicos, de modo que estos niveles corresponderían a sismitas.

No se considera muy plausible que se trate de sismitas, en sentido estricto, ya que adolecen de otras características propias de estos depósitos (Seilacher, 1984, 1991) y sólo se habría registrado la lámina de *homogeinitas*, no encontrándose una lámina infrayacente con estructuras frágiles como pequeñas fracturas sinsedimentarias. Aunque siempre podría tratarse de *homogeinitas* debidas a movimientos sísmicos que hubiesen sufrido un ligero

transporte a favor de una pequeña pendiente o corresponder a depósitos distales de corrientes turbidíticas desencadenadas por fenómenos de *slumping*, por otra parte muy frecuentes en las facies laminadas del yacimiento. Sólo se ha reconocido en el caso de una muestra una sucesión de estructuras que podrían ser equivalentes a las descritas para las sismitas (Fig. 2.4.29). No obstante estos fenómenos no pueden explicar la totalidad de los casos de aparición de esta microfacies, dada su forma de apilamiento y la disposición que muestran en su asociación con otras microfacies. Los procesos descritos no explicarían, por ejemplo, la alternancia rítmica de estas facies con las microfacies 7 y 8.

No existen evidencias que permitan descartar, de entrada, que se trate de sedimento resuspendido y homogeneizado

por la acción de corrientes de fondo. En este caso, el apilamiento de sucesivas láminas en conjunto granodecrecientes o granocrecientes puede deberse a una sucesión de eventos, capaces de poner en suspensión sedimento previamente depositado, y que progresivamente adquieren intensidad, de forma que van siendo capaces de poner en suspensión fracciones cada vez más gruesas de sedimento o viceversa.

3. Por último, su frecuente asociación con la Microfacies 3 y el hecho de compartir con ésta la presencia de lóbulos laminares apuntan a la posible existencia de procesos comunes en la génesis de ambas microfacies, por lo que estas microfacies podrían ser el producto de la decantación de la carga en suspensión de flujos turbidíticos de baja densidad generados por tormentas y avenidas con grandes cantidades de sedimento disponible.

No necesariamente un único origen justifica la totalidad de los casos de aparición de esta microfacies, de manera que cualquiera de los mecanismos explicados podrían haber operado dando resultados finales similares. Quizás el estudio concreto de cada aparición permita discriminar con mayor precisión, en función de las estructuras concretas que presenta en ese punto, la asociación de microfacies en la que se encuentra y el patrón de laminación interna y ordenamiento secuencial de las estructuras que muestra.

Microfacies 7. Paquetes carbonáticos laminados, milimétricos a centimétricos, clásticos, homométricos de grano fino, con estructuras de corriente

Descripción. Esta microfacies está formada por el apilamiento y/o amalgamamiento de láminas de color gris compuestas por micrita de grano fino, microcristalina, que presentan un aspecto muy homogéneo y en los que los pequeños fragmentos micríticos son homométricos, no observándose la presencia de fango micrítico entre los fragmentos a diferencia de las microfacies anteriormente descritas (ver leyenda anexa y Fig. 2.4.30). La naturaleza o el origen de los fragmentos es en este caso desconocido, ya que no es posible reconocer la presencia de fragmentos bioclásticos, peloides intraclásticos o cualquier otro tipo de grano, como en las microfacies 1 a 4.

Este tipo de sedimento parece haber sufrido una ligera recristalización de lo que podría derivar su aspecto homogéneo. La falta de fango micrítico más fino entre los granos puede deberse a la ausencia de granos micríticos en el sedimento original.

Pueden aparecer como pequeñas intercalaciones de espesor inferior a 1 mm, o como acumulaciones de láminas de hasta 4 ó 5 cm. Típicamente muestran un aspecto ondulado y suelen presentar estructuras de corriente, fundamentalmente ripples de



Fig. 2.4.30. Nivel característico de la Microfacies 7, con laminación de ripples trepadores, intercalado en niveles de Microfacies 4. Obsérvense las claras diferencias composicionales entre estas dos microfacies. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

varios tipos (Fig. 2.4.30), ripples trepadores, ripples hambrientos, *fading* ripples, y ripples simétricos, aunque no siempre es sencillo identificar claramente estas estructuras ya que suelen mostrar también abundantes estructuras de deformación hidroplástica que enmascaran las estructuras originales. De entre estas estructuras son especialmente destacables las de inyección o *flames* (Fig. 2.4.31).

Los paquetes más potentes suelen estar formados, en muchos casos, por la asociación de esta microfacies con la Microfacies 8 que composicionalmente presenta características idénticas a las de esta Microfacies 7, encontrándose ambas microfacies muy relacionadas genéticamente (Fig. 2.4.31, 2.4.32 y 2.4.33).

A escala macroscópica y de campo no se reconocen estructuras características y distintivas asociadas.

Las láminas y los paquetes de láminas claras formadas por sedimento micrítico homogéneo y homométrico alternan con láminas clásticas de composición idéntica a las descritas para la Microfacies 3 y 4, es decir láminas oscuras formadas por fragmentos bioclásticos y peloidales y fango micrítico que se ha decidido identificar como Microfacies 4 dada la ausencia de gradación interna. No se trata de una alternancia regular y sus características dependen de la escala a la que se produce. A escala submilimétrica, las láminas clásticas con fango micrítico aparecen de forma subordinada como niveles delgadísimos continuos y ondulados, o de manera discontinua, como pequeñas lenticulas intercaladas entre las láminas claras onduladas de sedimento micrítico homométrico (ver fotografía en la leyenda anexa y Fig. 2.4.32). Cuanto más potente es la acumulación de láminas claras onduladas o más amalgamadas aparecen éstas, más delgadas e irregulares son las pasadas de láminas oscuras.

Sin embargo, a escala milimétrica y centimétrica se suelen observar alternancias más regulares que, en realidad, constituirían ya una asociación de las microfacies 4 y 7



Fig. 2.4.31. Estructuras de inyección (*flames*) afectando a niveles de microfacies 7 y 8 que aparecen asociadas en paquetes amalgamados separados por niveles de Microfacies 4. Los niveles de Microfacies 8 presentan un color blanco brillante debido al mayor tamaño de grano. Nótese también en la parte superior de la fotografía la presencia de clastos alargados incorporados en un nivel de Microfacies 4 procedentes de la erosión de niveles infrayacentes de Microfacies 8. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

que se repite cíclicamente. En estas alternancias los paquetes de Microfacies 4 presentan espesores que oscilan entre 0.5 y 14 mm, no suelen estar gradados y contienen ostrácodos articulados y fragmentos de talos de carófitas dispersos y de tamaño mucho mayor que el resto de los componentes bioclásticos. En este caso los límites entre los dos tipos de láminas pueden ser netos o graduales, en general el paso de la Microfacies 7 a la Microfacies 4 suele ser neto, mientras que el paso de la Microfacies 4 a la Microfacies 7 puede ser neto o gradual. Los límites graduales suelen estar definidos por la presencia de delgados niveles característicos de la Microfacies 7 intercalados al techo del nivel de Microfacies 4 y en ocasiones por la presencia de cordones de lenticulas aisladas



Fig. 2.4.32. Detalle de la asociación de microfacies 7 y 8 con la Microfacies 4. Obsérvese la presencia de estructuras de deformación hidroplástica, la presencia de clastos de Microfacies 8 incorporados a los niveles de Microfacies 4 y el paso gradual a techo del segundo y del tercer nivel de Microfacies 7 y 8 hacia los respectivos niveles de Microfacies 4 que los suceden. El nivel central muestra una lámina de Microfacies 8 masiva y deformada a la base que grada a un conjunto de láminas de Microfacies 7 con laminación ondulada. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

que se pueden interpretar como niveles de ripples hambrientos. Los límites netos pueden llegar a ser incluso ligeramente erosivos.

Se ha observado en varias ocasiones la presencia de clastos redondeados, centimétricos, cuya composición corresponde con la de los niveles típicos de la Microfacies 7, incorporados a los niveles de la Microfacies 4, lo que parece indicar que entre la sedimentación de los dos tipos de microfacies se desarrolló un proceso erosivo (Fig. 2.4.32).

La asociación o alternancia de las microfacies 4 y 7 sí muestra a escala macroscópica o de

campo algunas estructuras típicas y distintivas, aunque es difícil determinar si están asociadas a una u otra microfacies o realmente son características de la asociación. En primer lugar suele ser común la presencia de lóbulos como los descritos en las microfacies 3 y 4. En segundo lugar es frecuente observar adelgazamientos y acunamientos laterales de paquetes de láminas centimétricos en extensiones inferiores a 1 m. Por último es significativa la abundante presencia de trazas de invertebrados.

Aunque esta es la asociación que aparece típicamente cuando se observan acumulaciones potentes de la Microfacies 7, ésta aparece también comúnmente asociada con las microfacies 5 y 6 y puede aparecer intercalada en forma de delgadas pasadas milimétricas en paquetes de cualquiera de las otras microfacies, exceptuando la Microfacies 1.

Aparece en todas las columnas estudiadas, siendo especialmente abundante en la sección de Cata 1 (Fig. 2.4.21), en la que la asociación de las microfacies 7 y 8 con la 4 llega a constituir más del 50% del total del espesor de la columna.

Interpretación. Esta microfacies presenta dos diferencias esenciales con respecto a todas las descritas e interpretadas hasta aquí, una en sus características composicionales y texturales, que de entrada sugiere una procedencia diferente del sedimento, y otra en la presencia de estructuras de corriente.

En cuanto a la composición y la textura la diferencia fundamental reside en la homometría de los granos, cuya naturaleza es inidentificable, el aspecto homogéneo y en la ausencia de sedimento micrítico oscuro.

No ha sido posible, hasta el momento, encontrar evidencias claras respecto al origen de este sedimento, de manera que lo que se puede decir corre el riesgo de ser meramente especulativo, aunque parece

muy probable que el sedimento original presentase una mejor selección y mayor homogeneidad composicional que el material del cual proceden las microfácies hasta ahora descritas e interpretadas. Una posibilidad es que se tratase de carbonato de producción algal. La homogeneidad textural y composicional y el aspecto ondulado que presentan las láminas de esta microfácies se corresponden con algunos de los criterios suministrados por Gerdes *et al.* (1991) para distinguir los carbonatos de origen biogénico.

Sin embargo, y aunque, en general, los paquetes de láminas están afectados por frecuentes estructuras de deformación sinsedimentaria que, en muchas ocasiones, enmascaran las estructuras sedimentarias originales, la presencia de ripples indica que tuvo lugar transporte y retrabajamiento por corrientes. Esta evidencia acerca del origen detrítico del depósito, descarta la posibilidad de que se trate de carbonato biogénico producido *in situ*.

La presencia de ripples trepadores (Fig. 2.4.30) y de *fading* ripples se considera diagnóstica del desarrollo de un proceso de sedimentación rápida de la carga de turbiditas distales de grano fino (Piper y Stow, 1991). Esta interpretación parece avalada o reforzada por la asociación con estructuras de deformación hidroplástica, estructuras de inyección y algunas huellas de carga.

La presencia de ripples simétricos podría deberse al retrabajamiento de estos depósitos por un ligero oleaje producido por el viento, lo cual estaría indicando que la batimetría a la que estos depósitos se produjeron era escasa.

Por otra parte, la presencia de ripples hambrientos en las bases y, en ocasiones en los techos de los niveles, indicarían la escasez de sedimento disponible en los momentos iniciales y finales del flujo.

La aparición sistemática de esta microfácies en alternancia con la

Microfácies 4 representa el relevo rítmico de dos tipos de eventos, mecánicamente diferentes, de transporte y depósito de sedimentos de grano fino con orígenes diferentes. Mientras que la Microfácies 4 no muestra evidencias de erosión o retrabajamiento por oleaje, estas evidencias sí que aparecen asociadas a la Microfácies 7, de manera que aparte del origen del sedimento podría existir una diferencia batimétrica entre ambas facies. Como ya se ha explicado, anteriormente, la Microfácies 4 podría representar la sedimentación de carga en suspensión de corrientes turbidíticas distales de grano fino o la decantación de sedimento en suspensión en la lámina de agua. En ambos casos se ha relacionado el proceso con fenómenos de avenidas. Es, por tanto, posible que los niveles del tipo de la Microfácies 4 se depositen como consecuencia de una inundación brusca cuyos procesos iniciales impliquen erosión de los depósitos previos, de ahí la presencia de cantos de la Microfácies 7 incorporados en estos niveles. Por el contrario la Microfácies 7 podría representar la sedimentación en momentos en que la lámina de agua es menor y la alternancia de ambas facies podría indicar la alternancia de etapas más húmedas y más áridas, causantes de las variaciones en la lámina de agua lacustre.

Una evidencia de la existencia de períodos con escasa lámina de agua la constituye la presencia de un rastro de cocodrilo (Lámina VIII.1 y 2) cuyas características no permiten inferir que el animal produjo el rastro sumergido en la lámina de agua sino con la mayor parte de su cuerpo emergido (Moratalla *et al.*, 1995). Este rastro se encuentra en la Cuadrícula Negra, se produjo sobre niveles de Microfácies 2 y se encuentra enterrado por niveles de Microfácies 7 (Fig. 2.4.17). Dado que, según la interpretación que se le ha dado, la Microfácies 2 requiere de la presencia de una mayor lámina de agua, el rastro se habría producido durante una bajada del nivel. Durante este momento de bajo nivel se depositarían los niveles de Microfácies 7 que lo entierran.

Microfacies 8. Paquetes carbonáticos laminados, milimétricos a centimétricos, clásticos, homométricos, de grano grueso, fuertemente deformados

Descripción. Composicional y texturalmente esta microfacies es muy similar a la Microfacies 7, aunque presenta un color blanco brillante y el sedimento es de grano más grueso (ver fotografía en la leyenda anexa). Suelen aparecer en niveles milimétricos a centimétricos, con límites ondulados y fuertemente deformados hidrolásticamente (Fig. 2.4.33). No se aprecian las estructuras de corriente que caracterizan a la Microfacies 7, tampoco es común observar laminación interna bien definida y no presentan las intercalaciones lenticulares discontinuas de niveles de sedimentos con abundante fango micrítico oscuro que se apreciaban en la Microfacies 7. Por el contrario más bien se presentan como paquetes de láminas amalgamadas y deformadas, lo que les confiere un aspecto masivo y «aboudinado» característico. En algunas ocasiones se observa gradación positiva en las láminas.

Aunque pueden llegar a constituir paquetes de hasta 2 cm de espesor individualizados, lo más habitual es que aparezcan intercalados de forma irregular

en paquetes formados mayoritariamente por la Microfacies 7, habitualmente a la base (Fig. 2.4.31, 2.4.32 y 2.4.33).

Al igual que la Microfacies 7, se asocia a la Microfacies 4 formando alternancias cíclicas, como las ya descritas anteriormente. También aparece asociada a las microfacies 5 y 6 o intercalada de forma esporádica en cualquiera de las otras microfacies, exceptuando la Microfacies 1.

La columna en la que aparece mejor representada es la de Cata 1 (Fig. 2.4.21), aunque es posible reconocerla en todas las columnas estudiadas.

Interpretación. Esta microfacies presenta la misma problemática no resuelta en cuanto al origen del sedimento. Respecto al proceso de sedimentación la abundancia de estructuras de deformación hidrolásticas parece indicar que, al igual que en el caso de la Microfacies 7, se trata de eventos de sedimentación muy rápida probablemente a partir de corrientes turbidíticas. La aparente ausencia de estructuras de corriente puede ser debida a la intensa deformación que han sufrido estos niveles. Si se asume que, realmente, la gradación es la única estructura que llegó a formarse, se podría interpretar que estas

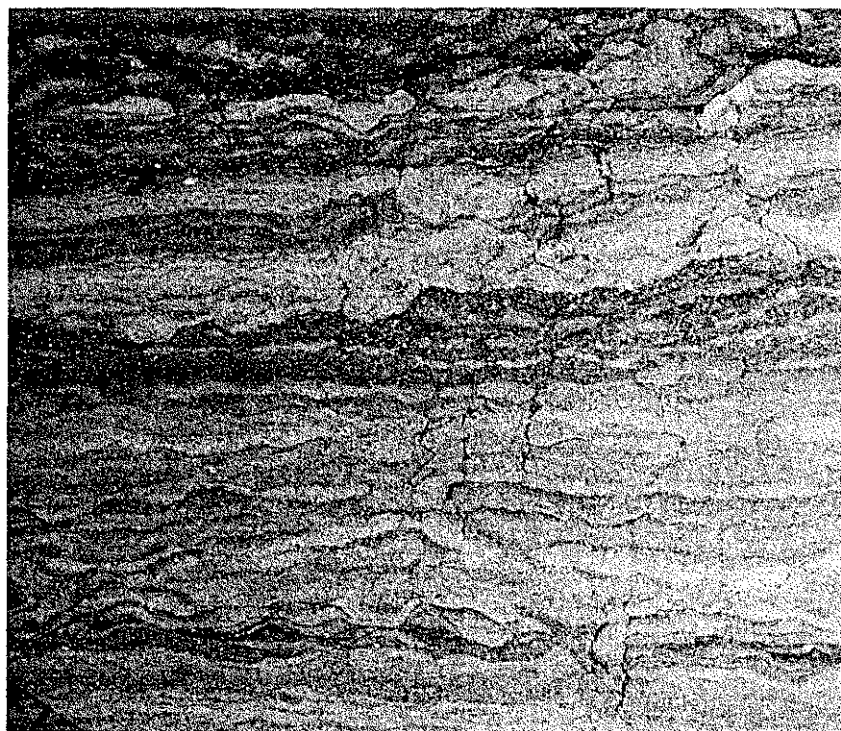


Fig. 2.4.33. Intensa deformación hidrolástica asociada a niveles de Microfacies 7 y 8.

microfacies corresponden a la descarga brusca, prácticamente instantánea, de la fracción de mayor tamaño de grano en suspensión de una turbidita de grano fino.

En los casos en que esta microfacies aparece a la base de niveles constituidos por la Microfacies 7 (Fig. 2.4.32) ambas podrían representar la sedimentación de una misma turbidita de grano fino, en la que la Microfacies 8 sería equivalente al término A de la secuencia de Bouma y la Microfacies 7 al término C.

Las interpretaciones realizadas para la Microfacies 7 en cuanto a su asociación con la Microfacies 4 son también asumidas en este caso dadas las similitudes entre las dos microfacies y en su asociación con la Microfacies 4.

Microfacies 5. Intercalación de láminas carbonáticas milimétricas clásticas homométricas, de grano fino en paquetes de dobletes carbonáticos submilimétricos y milimétricos clásticos y gradados

Descripción. Esta microfacies es la primera de las dos que enlazan los extremos del espectro total de microfacies identificado, es decir las microfacies 1 a 4 esencialmente compuestas por acumulaciones de fragmentos bioclásticos y peloidales con fango micrítico y la Microfacies 7 y, ocasionalmente, la 8 esencialmente compuestas por acumulaciones homogéneas y homométricas de fragmentos clásticos sin fango micrítico y cuyo origen es incierto.

En concreto esta microfacies consiste en la intercalación de pasadas de 0.5 a 1 mm de láminas características de la Microfacies 7 en paquetes de láminas caracterizables como pertenecientes a la Microfacies 2 y, en ocasiones, a la Microfacies 3, presentando el conjunto características mixtas entre ambos tipos de facies (ver fotografía en la leyenda anexa).

Los niveles de tipo Microfacies 2 suelen presentarse en su variedad de ordenamiento más irregular y asimétrica, con límites



Fig. 2.4.34. Paso gradual de Microfacies 2 en la parte inferior de la fotografía a Microfacies 7 en la parte superior de la fotografía con desarrollo de Microfacies 5 intermedias. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

ondulados, difusos y espesores de láminas variables (Fig. 2.4.34)

Los niveles de tipo Microfacies 7 suelen también adolecer de algunas de las principales características de esta microfacies, tales como la laminación de ripples, ya que en general suelen ser masivos y de grano muy fino, aunque sí muestran el aspecto ondulado.

En el conjunto predominan los intervalos característicos de la Microfacies 2 sobre los de la Microfacies 7 que pueden aumentar o disminuir hacia el techo del intervalo total de aparición de la microfacies. Cuando se registra un aumento la microfacies suele pasar a techo a niveles íntegramente constituidos por la Microfacies 7 (Fig. 2.4.34), mientras que la disminución va ligada al paso a paquetes constituidos por las microfacies 2 ó 3. Este ordenamiento define el carácter transicional de esta microfacies.



El espesor de los intervalos constituidos por esta microfacies varía de 3 a 37 mm.

Lógicamente, aparece asociada a las microfacies 2 y 7 y, en ocasiones, también a la Microfacies 6, que es igualmente una microfacies mixta o transicional.

Esta es la microfacies a la que corresponde el menor porcentaje del espesor total de sedimentos laminados estudiados, aunque en mayor o menor medida aparece en todas las columnas descritas.

Interpretación. Obviamente la interpretación de esta microfacies está íntimamente relacionada con las interpretaciones que se han realizado de las microfacies 2, 3 y 7.

Dado que los niveles de Microfacies 7 aparecen como intercalaciones se trataría de la llegada esporádica de corrientes turbidíticas que transportan un tipo de sedimento diferente al que en esos momentos se está depositando por decantación del sedimento removilizado y puesto en suspensión por tormentas o avenidas. Puesto que las intercalaciones de Microfacies 7 no presentan estructuras de corriente, el mecanismo de sedimentación sería la descarga brusca del sedimento de grano fino en suspensión en la corriente turbidítica.

No existe ninguna evidencia para argumentar cambios en la batimetría como en el caso de las alternancias de microfacies 4 y 7. Si bien se considera que el depósito de las microfacies 2 y 3 requiere de una lámina de agua considerable, no se han encontrado evidencias de una menor lámina de agua en el momento del depósito de las intercalaciones de Microfacies 7. Aunque los techos de los niveles son ondulados no se puede asegurar que esta morfología se deba a retrabajamiento por oleaje.

El aumento o disminución en la frecuencia y espesor de las intercalaciones, que dan a esta microfacies su carácter transicional, debe corresponderse con el aumento o disminución en la disponibilidad de este tipo de sedimentos.

Si se asume que los depósitos del tipo de la Microfacies 7 están relacionados con la sedimentación en etapas con menor lámina de agua y su disponibilidad se restringe a estas etapas, esta Microfacies 5 representaría la sedimentación en los momentos transicionales en que la lámina de agua está disminuyendo o aumentando.

No se puede llegar a considerar esto como mucho más que una mera especulación que habría que tomar con mucha cautela, ya que por el momento el desconocimiento del origen del sedimento que constituye la Microfacies 7 y la ausencia de cualquier otro tipo de datos impiden llegar más allá en las interpretaciones.

Microfacies 6. Alternancia submilimétrica de láminas carbonáticas clásticas masivas y láminas carbonáticas compuestas por clásticos homométricos, de grano fino a grueso

Descripción. Esta es la segunda de las microfacies que se han considerado transicionales. Está formada por una alternancia muy regular de dos tipos de láminas submilimétricas, una lámina oscura de composición idéntica a la de las microfacies 3 y 4 y una lámina clara de composición idéntica a la de las microfacies 7 y 8. Los límites entre las láminas son netos y aparecen ligeramente ondulados. El conjunto presenta un aspecto muy peculiar y distintivo, similar al de un paquete de hilos abiertos y dispuestos sobre un telar (ver fotografía en la leyenda anexa).

Los paquetes compuestos por esta alternancia suelen tener espesores milimétricos y excepcionalmente pueden tener algo más de 1 cm. La forma de aparición más típica es en asociación con niveles masivos de la Microfacies 4, con los que constituyen alternancias cíclicas, iguales a las que se han descrito en la Microfacies 7, y en las que el lugar de la Microfacies 7 lo ocuparía la Microfacies 6 (Fig. 2.4.35).

Puede presentar estructuras de deformación sinsedimentaria, pequeñas

fracturas y en algún caso *loop bedding*, no presentando ningún carácter o estructura distintiva que permita identificarla a escala macroscópica.

Aparece asociada a las Microfacies 7 y 8, aunque la asociación más característica es la compuesta por la sucesión de alternancias cíclicas de Microfacies 7 y 8 con Microfacies 4, y alternancias cíclicas de Microfacies 6 con Microfacies 4 (Fig. 2.4.35).

También puede aparecer asociada a la Microfacies 5.

En mayor o menor proporción esta microfacies ha sido reconocida en todas las columnas estudiadas.

Interpretación. La interpretación de esta microfacies puede estar en función de la interpretación de los dos tipos de sedimentos que constituyen la alternancia que la definen y, en principio, parece tratarse de la alternancia sucesiva de dos tipos de eventos de sedimentación que depositan materiales de distinta procedencia o de distinto origen.

Los niveles de Microfacies 6 aparecen ocupando el mismo lugar que los niveles de microfacies 7 y 8 en su asociación con la Microfacies 4, de manera que ambas asociaciones podrían interpretarse en los mismos términos, pero el evento de sedimentación del paquete de Microfacies 7 correspondería a un evento de sedimentación de Microfacies 6.

La diferencia entre las microfacies 6 y 7 parece residir en la mayor continuidad de las delgadas intercalaciones de sedimentos del tipo de la Microfacies 4 y en el delgado espesor de los niveles formados por sedimentos del tipo de la Microfacies 7. Es decir, que de alguna manera la Microfacies 6 reproduce a pequeña escala la alternancia de paquetes de Microfacies 7 y paquetes de Microfacies 4 de la asociación a mayor escala.

Centrándose en la alternancia que constituye la Microfacies 6, el delgado

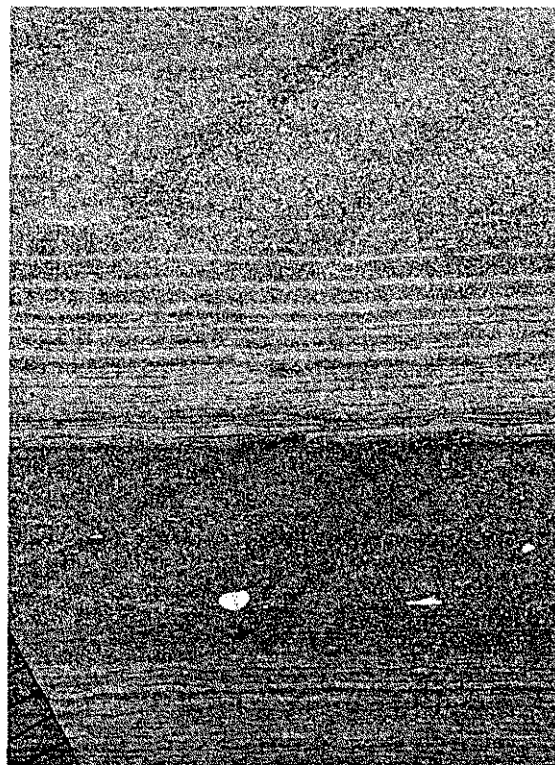


Fig. 2.4.35. Ejemplo de la asociación de la Microfacies 6 con la Microfacies 4. Esta fotografía permite entender el carácter de microfacies de transición que se le ha conferido a la Microfacies 6. El paquete laminado de la parte central, presenta en su parte inferior un conjunto de láminas amalgamadas que podrían considerarse propias de la Microfacies 7 y que pasan gradualmente al nivel de Microfacies 4 por medio del desarrollo de un conjunto característico de la Microfacies 6. El tamaño de una unidad de división de la escala es 0,5 mm.

espesor de las láminas composicionalmente parecidas a la Microfacies 7 podría estar relacionado con la escasa disponibilidad de estos sedimentos en el área de origen. Por otro lado, aunque muy delgados, la continuidad de los niveles del tipo de la Microfacies 4 parecen indicar una disponibilidad mayor o más constante de este tipo de materiales, probablemente una presencia continua de este tipo de sedimentos en suspensión en la lámina de agua. O dicho de otra manera, la presencia de este sedimento y su decantación no se restringiría a los eventos de sedimentación de paquetes potentes de Microfacies 4 que alternan con los paquetes de Microfacies 6 (asociación a mayor escala). Según esto se podría explicar la alternancia submilimétrica de la Microfacies 6 como etapas en las que llegan sedimentos del tipo

de la Microfacies 7 en cantidades pequeñas y en pulsos continuos (uno correspondiente a cada laminilla) mientras que se está produciendo la decantación de sedimento del tipo de la Microfacies 4.

No se reconocen estructuras de corriente en estos niveles, por lo que ambos tipos de láminas parecen haberse depositado por decantación de carga en suspensión. Los límites entre los niveles son ondulados, aunque no existen evidencias directas que indiquen que se deba a retrabajamiento por oleaje.

Vuelve a crearse aquí un problema, similar al explicado en la interpretación de la Microfacies 5, respecto a las condiciones ambientales generales en las que se acumulan los depósitos de la Microfacies 6, ya que tampoco hay evidencias para argumentar diferencias batimétricas en los eventos de depósito de los dos tipos de láminas que constituyen la alternancia, ya que los paquetes de Microfacies 6 parecen corresponder a eventos continuos de sedimentación en las mismas condiciones para los dos tipos de láminas.

Por semejanza con la asociación de microfacies 4 y 7, podría existir una diferencia batimétrica entre los niveles de Microfacies 6 y los niveles de Microfacies 4 en la asociación alternante en la que suelen aparecer.

Sin embargo, se piensa que los niveles de esta Microfacies 6 podrían haberse depositado a mayor batimetría que los niveles de Microfacies 7. Dado el carácter transicional de la Microfacies 6 ésta pudo formarse en los momentos en que la batimetría está aumentando o disminuyendo. La presencia de una mayor cantidad de *sedimento micrítico en suspensión* (sedimento de tipo Microfacies 4) removilizado por tormentas en los momentos de depósitos de la Microfacies 6 serían la única evidencia indirecta que se poseería de una mayor batimetría, siempre y cuando sea cierto que los materiales del tipo de la Microfacies 7 se encuentren disponibles en etapas más áridas.

De la misma manera que se advirtió en el caso de la Microfacies 5 aquí también habría que ser sumamente cauteloso con estas interpretaciones ya que, en parte, están apoyadas en evidencias muy débiles y de significado discutible.

2.4.4.3 Modelo de facies e interpretación paleoambiental

A continuación se expondrá un resumen y breve discusión de las interpretaciones que se han hecho en el apartado anterior sobre las ocho microfacies descritas, que sirva para obtener una visión de conjunto del modelo de facies que a partir de las mismas se propone y de los procesos que participaron en la formación del litosoma laminado fosilífero del yacimiento de Las Hoyas. La discusión sobre los procesos que concurren en la génesis de éste se realiza exclusivamente desde un punto de vista sedimentológico y no se tienen en cuenta su contenido fósil ni los datos paleontológicos, con excepción de algunos datos icnológicos. Es decir, se trata de un modelo de litofacies que no considera las biofacies ni las tafofacies presentes en el yacimiento.

En general, las facies laminadas son el resultado del transporte y la acumulación de detritos carbonáticos de grano muy fino previamente acumulados en áreas litorales del mismo lago o en las charcas y llanuras palustres que rodearon el cuerpo de agua principal.

Se reconocen dos tipos de sedimentos calcáreos diferentes. El primero de ellos está compuesto por fragmentos bioclásticos, peloides intraclásticos, fragmentos vegetales y abundante fango micrítico y procede de las áreas litorales o de las áreas palustres circundantes. El tamaño de grano puede variar desde arenitas de grano muy fino a tamaños limo muy finos. Este tipo de sedimento constituye las microfacies 1 a 4 y parte de las microfacies 5 y 6.

El segundo tipo de sedimento está compuesto por pequeños cristales de

carbonato de tamaños similares, sin fango micrítico apreciable, y de origen desconocido en cuanto a la fuente del sedimento, aunque se interpreta que son igualmente detríticos dada las estructuras de corrientes que suelen presentar los niveles en los que se acumulan. El tamaño de grano varía también desde arenitas muy finas a limos. Constituye las microfacies 7 y 8 y parte de las microfacies 5 y 6.

No se descarta tampoco la existencia de carbonato de producción algal debido al desarrollo de tapices cianobacterianos en el fondo. La existencia de estos tapices en los depósitos laminados del yacimiento ha sido observada al S.E.M. (Briggs *et al.*, 1997), pero no se han encontrado evidencias directas a escala macroscópica y del microscopio petrográfico. Se ha interpretado que estos tapices podrían haber realizado una labor de atrapamiento mecánico del sedimento en suspensión. Aunque el desarrollo de los tapices cianobacterianos se han relacionado con los depósitos de la Microfacies 2 no se puede descartar su presencia en la formación de otras microfacies. Estas mallas podrían conferir al fondo una morfología irregular causante de los límites ondulados que presentan las láminas que componen algunas microfacies.

La removilización, resuspensión y transporte de los sedimentos hacia las áreas centrales del cuerpo de agua lacustre podrían haber estado desencadenados por alguno de los siguientes fenómenos: tormentas, avenidas y aporte fluvial al lago y, en algunos casos, movimientos sísmicos y *slumping*.

Las evidencias del desarrollo de tormentas y etapas de avenida se han reconocido también, de forma independiente, en el análisis de las facies que constituyen los dominios litorales del sistema lacustre, por lo que la interpretación de las facies laminadas de cuenca en relación con estos procesos puede ser considerada consistente dentro del modelo general que se perfila. De una forma u otra la totalidad de las microfacies descritas están ligadas a este tipo de fenómenos.

La frecuente aparición de estructuras de deformación sinsedimentaria y *slumps* son la evidencia del desarrollo de eventos sísmicos durante la sedimentación. Se ha interpretado que algunos de los depósitos de la Microfacies 4 podrían corresponder a *homogeinitas* sísmicas (Seilacher, 1991) (Fig. 2.4.29).

Se ha interpretado que el principal mecanismo de sedimentación es la decantación de la carga en suspensión de turbiditas de grano fino y baja densidad o la decantación directa del sedimento en suspensión en la lámina de agua lacustre.

Se considera que las microfacies 1 a 4 serían agrupables dentro del espectro total de microfacies y reflejarían procesos desarrollados en condiciones similares. Descendiendo a un mayor detalle se podría realizar, a su vez, otro agrupamiento que separaría por un lado las microfacies 1 y 2 y por otro las microfacies 3 y 4.

Las microfacies 1 y 2 parecen reflejar sucesiones de eventos de flujo y decantación más discontinuos y con menor aporte de sedimentos (sucesiones de láminas asimétricas delgadas). Por su parte las microfacies 3 y 4 parecen reflejar depósitos de eventos de flujo continuo con mayor aporte de sedimentos (sucesiones de láminas simétricas potentes). Para explicar estas evidencias se propone el modelo que a continuación se expone.

Ambas microfacies se deben a procesos cuyo desencadenante principal serían las tormentas, aunque ambas reflejan mecanismos sedimentarios diferentes. El desarrollo de una tormenta o una secuencia de tormentas durante una estación húmeda produce efectos diferentes dentro y fuera del cuerpo de agua lacustre. En el lago el viento induciría un oleaje más fuerte, se pondrían en suspensión los sedimentos del fondo y se podrían desencadenar corrientes internas que redistribuyan estos sedimentos. En las áreas circundantes se produciría una avenida e inundación consiguiente del área, aumentaría el caudal y la competencia del flujo en los canales permanentes y se

pondrían en funcionamiento los canales efímeros estacionales.

En este contexto, se piensa que las microfácies 1 y 2 se deben al transporte y sedimentación por corrientes desencadenadas dentro del lago como consecuencia de las tormentas, y las microfácies 3 y 4 se deben al transporte y sedimentación por corrientes desencadenadas en las áreas circundantes del lago y que verterían su carga dentro del mismo.

En el caso de las microfácies 1 y 2 cada doblete correspondería a una tormenta y el aporte se restringiría al momento de desarrollo de la tormenta. En el momento en que cesa la tormenta cesa la agitación del agua por el viento y el proceso de resuspensión de sedimentos. La sedimentación de los materiales en suspensión se prolongaría poco tiempo después del final de la tormenta.

Por su parte las microfácies 3 y 4 serían básicamente sedimentos aportados desde fuera del cuerpo de agua lacustre por pequeños cauces fluviales efímeros o podrían proceder de la entrada de flujos no canalizados, probablemente mantos de arroyada. En este caso el aporte y sedimentación se podría desarrollar durante períodos más largos. El transporte comenzaría con la inundación del área y podría prolongarse durante bastante tiempo una vez que el fenómeno desencadenante, es decir la tormenta, ha cesado y hasta que el área inundada ha desagüado y deja de haber flujo en los cauces. Si se desarrollan secuencias de tormentas de alta frecuencia durante las estaciones húmedas podría tener lugar un proceso ininterrumpido de transporte y sedimentación hasta el lago. Esto explicaría la mayor potencia de las láminas, la simetría de las mismas, y la gradualidad del paso entre ellas, a diferencia de las láminas de las microfácies 1 y 2, asimétricas, en general más delgadas, y con pasos netos entre las mismas.

No se han reconocido secuencias de aparatos deltaicos relacionadas con la sucesión de facies de relleno del sistema lacustre. Las evidencias que sustentan la

existencia de aportes de procedencia externa al cuerpo de agua lacustre son la presencia de facies especialmente ricas en restos vegetales terrestres que suelen contener cantidades anómalas de materia orgánica cuyo análisis permite adjudicarle un origen terrestre (Talbot, com. per.). Estas facies son también las que contienen mayor cantidad de arcillas (hasta un 5%) y pequeñas cantidades de cuarzo. En campo se distinguen por su color negro y al microscopio corresponden con depósitos de la Microfacies 3 y con la asociación de Microfacies 4 y 7.

La ausencia de sistemas deltaicos parece estar indicando que no existieron unos cauces de aporte permanentes y estables durante todo el tiempo que duró la sedimentación. Es más plausible que los aportes se realizaran a través de cauces efímeros y que los puntos de entrada de aporte variasen con el tiempo, a la vez que existirían corrientes de aporte no canalizadas. Esto parece corresponderse con las características de un medio semiárido en el que se producen inundaciones bruscas, probablemente estacionales.

Aunque de forma esquemática este modelo puede explicar buena parte de las evidencias que se poseen, es probable que no todos los casos de aparición de las microfácies 1 a 4 puedan adjudicarse categóricamente a uno de los dos grupos.

Los dos tipos de procesos explicados, transporte y sedimentación por corrientes internas o desencadenadas dentro del lago, y transporte y sedimentación por corrientes externas al mismo que vierten en él, serían simultáneos, ambos ocurrirían durante las etapas húmedas con desarrollo de tormentas y estarían desencadenados por éstas. Por tanto los dos tipos de aportes podrían mezclarse en el cuerpo de agua lacustre; así, por ejemplo, los sedimentos de los *overflows* externos que quedarían en suspensión en la lámina de agua se mezclarían al decantar con los sedimentos del litoral lacustre resuspendidos por la tormenta dando lugar a depósitos en los que no existe manera de distinguir los dos tipos

de sedimentos, éste puede ser el caso de algunos dobletes relativamente potentes de la Microfacies 2 y de niveles de la Microfacies 4 (ver fotografía correspondiente a la Microfacies 4 en la leyenda anexa).

Tampoco es posible distinguir, en estos casos, el sedimento de precipitación a partir de la producción en la propia columna de agua, ya que probablemente se encuentra también mezclado en los sedimentos con los otros tipos de sedimentos ya mencionados reiteradamente.

Por consiguiente y como conclusión se interpreta que las microfacies 1 a 4 representan la sedimentación en los momentos de mayor batimetría relativa durante etapas húmedas con desarrollo de secuencias de tormentas.

En el extremo opuesto del espectro de microfacies descrito se sitúan las microfacies 7 y 8. La imposibilidad, por el momento, de establecer el origen del sedimento que las constituye limita notablemente las interpretaciones ambientales.

Estas dos microfacies se separan claramente de las otras desde el punto de vista descriptivo, por su composición, textura y estructuras sedimentarias asociadas. Se ha interpretado que aunque están ligadas a procesos sedimentarios similares a las microfacies 1 a 4, es decir, desarrollo de turbiditas distales, estos depósitos se produjeron en condiciones de menor batimetría ya que algunos de los niveles muestran retrabajamiento por oleaje. La asociación de estas facies con rastros de vertebrados (Moratalla *et al.*, 1995) parece apoyar que la batimetría era escasa.

Las microfacies 5 y 6 se encuentran en la parte media del espectro y poseen características mixtas de las microfacies que definen los dos extremos, de manera que con mucha cautela se ha interpretado que podrían corresponder a la sedimentación en los momentos en que se está produciendo un cambio batimétrico gradual aunque podrían estar en función, simplemente, de

la disponibilidad de los dos tipos de sedimentos.

Todos los procesos interpretados y que se han ido exponiendo a lo largo de este apartado y el apartado anterior explican la formación de sedimentos laminados, sería por tanto necesario explicar ahora los procesos que concurren en la preservación de esta laminación.

En primer lugar, es evidente que, de una manera u otra, durante la sedimentación se inhibió el desarrollo de poblaciones de organismos bioturbadores, la principal causa de modificación y destrucción de la laminación. Esta ausencia puede ser debida a múltiples razones relacionadas con los parámetros físicos y físico-químicos, que en conjunto dan lugar a condiciones hostiles para el desarrollo normal de comunidades vivas: anoxia, salinidad o turbidez excesiva, ausencia de luz, presencia de gases letales, ausencia de nutrientes, pH excesivamente ácido o excesivamente alcalino, etc. La inestabilidad ambiental, es decir los cambios muy frecuentes del conjunto de parámetros ambientales, puede también justificar la inhibición del desarrollo de las comunidades.

Sí existen, sin embargo, en algunos niveles icnitas. La asociación de trazas está compuesta por cinco icnoespecies de invertebrados y una correspondiente a rastros de natación peces (Fregenal Martínez y Moratalla, 1995; Fregenal Martínez *et al.*, 1995a; De Gibert *et al.*, en prensa): *Cruziana* isp., *Helminthoidichnites tenuis*; *Lockeia* isp.; *Palaeophycus* isp.; *Treptichnus pollardi*; *Undichna* isp.

La icnoasociación se caracteriza por presentar variedad etológica y por contener trazas de pequeño tamaño horizontales y subhorizontales cuya producción afectó exclusivamente a la lámina más superficial del sedimento. El pequeño tamaño de los elementos que componen esta icnoasociación se piensa que refleja condiciones de alto estrés ecológico debido a inestabilidad de las condiciones ambientales (Fregenal Martínez *et al.*, 1995a). El dominio de trazas horizontales y subhorizontales y la

diversidad etológica sugiere un ambiente de baja energía, subacuático y somero.

La asociación es característica de la icnofacies continental de *Mermia* característica de sedimentos de grano fino depositados en medios lacustres abiertos en condiciones subacuáticas permanentes, buena oxigenación y baja energía (Buatois y Mángano, 1995).

Estos datos perfilan al medio de depósito de las facies laminadas como un entorno hostil con condiciones ambientales extremas o muy cambiantes.

Otra garantía propiciatoria de la conservación de la laminación es la ausencia o condiciones de protección frente a procesos capaces de poner en resuspensión volúmenes grandes de sedimento, es decir ausencia de corrientes de fondo y en especial protección frente a la acción del viento ya sea por profundidad o por recubrimiento del fondo por tapices algares o bacterianos gruesos.

Parece también evidente, después del estudio detallado de las microfacies que aunque existieron corrientes de fondo, éstas eran débiles y con escaso o nulo poder erosivo. Sí existen algunas evidencias, sin embargo del desarrollo de tapices bacterianos en el fondo que podrían haber participado tanto en la formación de la misma como en su conservación.

Las evidencias de que se disponen a partir del estudio de las facies laminadas del dominio de cuenca y las facies de otros dominios ambientales del mismo sistema lacustre no indican que el sistema tuviera una lámina de agua suficientemente potente como para permanecer térmicamente estratificada y garantizar un fondo permanentemente aislado y anóxico. Aunque debieron existir momentos en que se registrasen subidas importantes de la lámina de agua, existen evidencias para pensar que la batimetría debió ser muy escasa en otros momentos.

La oxigenación del fondo parece estar en función tanto de la batimetría, o más bien

de la relación extensión superficial/profundidad, como de la concentración de nutrientes en el fondo y de la localización del lago que condiciona su protección frente a los vientos regionales dominantes capaces de mezclar láminas de agua de poco espesor (Jewell, 1992). Aunque los lagos que se estratifican estacionalmente con mayor facilidad son los de profundidad intermedia, lagos someros con láminas de agua de 3 a 4 m de media pueden experimentar débiles estratificaciones estacionales con una concentración adecuada de sales orgánicas en el fondo y en momentos de escasa acción eólica. Este es, por ejemplo, el caso del Lago Gem en California que presenta una profundidad media de 3,4 m (Jewell, 1992), aunque este lago aparece en un contexto general que nada tiene que ver con el caso aquí estudiado.

Es, por el momento, prácticamente imposible establecer como fue la dinámica combinatoria de estos tres parámetros (batimetría o relación extensión superficial/profundidad, concentración de sales orgánicas en el fondo y localización del lago frente a las direcciones de los vientos regionales dominantes) en el caso del sistema lacustre de Las Hoyas. No se descarta el desarrollo de etapas de anoxia en el fondo aunque no parece plausible que éstas afectaran a una gran parte de la columna de agua. Si es posible que la acumulación y descomposición de cantidades considerables de materia orgánica en el fondo propiciara condiciones reductoras anóxicas en el sedimento, de manera que el límite de oxigenación oscilase levemente entre la interfase sedimento-agua y escasos centímetros por encima o debajo de dicha interfase según el momento estacional, el tipo de eventos sedimentarios que estuviesen teniendo lugar, etc., tratándose por tanto de un fondo disaeróbico.

El tipo de procesos sedimentarios descritos para las facies laminadas pudieron generar condiciones de turbidez alta en el fondo en determinados momentos, siendo la turbidez elevada otra condición inhibidora del desarrollo de comunidades bentónicas.

Los cambios frecuentes de batimetría, la anoxia temporal o permanente del sedimento del fondo, la turbidez y el desarrollo de tapices bacterianos son, en principio los factores que se pueden inferir a partir de las evidencias disponibles como posibles mecanismos favorecedores de la preservación de la laminación.

2.4.4.4 Análisis de la ciclicidad

Para finalizar con el estudio de las facies laminadas del yacimiento de Las Hoyas se realizará una breve discusión sobre la existencia de una organización cíclica en la distribución estratigráfica de las microfases y sobre los posibles parámetros que podrían haber controlado esta supuesta ciclicidad. Es conveniente tener en cuenta que se trata de un tema muy complejo y que las conclusiones que hasta el momento han podido ser extraídas son muy preliminares.

Desde el punto de vista meramente descriptivo y en una primera aproximación es evidente tras la observación de las columnas de microfases (Fig. 2.4.16 a 2.4.22) que no existe un patrón estrictamente regular producido por la repetición rítmica o cíclica de una misma y única secuencia básica: los espesores de los intervalos estratigráficos de desarrollo de las distintas microfases son muy variables y a pesar de la relación genética reconocida entre todas las microfases y los pasos graduales existentes en muchas ocasiones, éstas no se ordenan en una secuencia o asociación tipo. No obstante, la distribución de las microfases no es completamente estocástica y sí existen asociaciones más o menos frecuentes de microfases a las que se ha ido aludiendo en la descripción e interpretación de cada microfases.

Estas asociaciones sin embargo varían, de base a techo, a lo largo del transecto estratigráfico estudiado, así por ejemplo mientras que la asociación de las microfases 1 y 2 es característica de la parte basal del conjunto y aparece en las

columnas de las cuadrículas Amarilla, Rosa y Negra (Figs. 2.4.16 y 2.4.17), la desaparición de la Microfases 1 hacia el techo da lugar a que la Microfases 2 aparezca en asociación con la Microfases 3 y en ocasiones con la Microfases 5. Por el momento no se han elaborado hipótesis respecto al hecho de la modificación de las asociaciones a lo largo de la sucesión total.

Es necesario, por otra parte tener en cuenta que las interpretaciones que han podido establecerse sobre la génesis de las microfases caracterizan al conjunto como una sucesión de eventos episódicos irregulares aunque recurrentes, cuya periodicidad es por el momento desconocida (sucesión de depósitos de flujos turbidíticos y decantación de material resuspendido, en última instancia desencadenados por tormentas) por lo que cabría proponer que, en conjunto, se trata de una secuencia discíclica y no periódica causada por eventos estratigráficos irregulares o debida a procesos autocíclicos (Dott, 1988).

Si se repasan con cierto detalle las interpretaciones genéticas existen evidencias del desarrollo de procesos controlados por factores puramente autocíclicos. Recuérdense por ejemplo las interpretaciones dadas a las asociaciones de microfases 1 y 2, y de microfases 3 y 4, y a las propias microfases que las componen. Ambas, aunque debidas a procesos diferentes pueden depositarse al mismo tiempo y resultar equivalentes lateralmente, dando lugar a que aparezcan sucesiones diferentes en distintos puntos del mismo área de sedimentación; sus espesores están en función de la disponibilidad de sedimentos en la zona fuente y dada su naturaleza varían lateralmente de espesor; las microfases 3 y 4 pueden ser resultado del aporte por corrientes canalizadas o no, externas que entran en el lago y cuyo punto de entrada puede variar o migrar de una etapa de descargas a la siguiente.

Parece por tanto fundamentado decir que existe una secuencialidad autocíclica, autogénica o discíclica.

Sin embargo, si teniendo en cuenta las interpretaciones genéticas de las microfacies se realiza una abstracción o simplificación de las mismas sí se puede llegar a establecer la existencia de una alternancia rítmica de microfacies más regular y ordenada. Esta abstracción consiste en adjudicar un papel equivalente a las distintas microfacies que componen cada uno de los extremos del espectro y el lugar intermedio del mismo, es decir considerar como una única microfacies el conjunto de microfacies 1 a 4, como otra diferente el conjunto de microfacies 7 y 8 y como una tercera el conjunto de microfacies 5 y 6.

Una vez realizada esta simplificación se puede establecer la existencia de una repetición a varias escalas de la alternancia de una o más de las microfacies 1 a 4 con las microfacies 7 y 8, en algunas ocasiones con aparición de facies mixtas (microfacies 5 y 6) en posiciones intermedias (ver columnas de las cuadrículas Rosa y Negra, Fig. 2.4.17).

Esta alternancia se observa desde una escala milimétrica a decimétrica, aunque resulta más evidente a escala centimétrica y decimétrica. Obsérvense como ejemplo de esto las columnas Cata 1 y Cuadrícula Amarilla (Fig. 2.4.21 y Fig. 2.4.16). Si se observa teniendo en cuenta la simplificación en ambas, es posible ver alternancias o secuencias centimétricas y decimétricas de paquetes de microfacies 1 a 4 y de paquetes de microfacies 7 y 8 o secuencias completas en el caso de aparición de términos transicionales (microfacies 5 y 6). Pero mientras que en la columna de la Cuadrícula Amarilla predominan en conjunto los términos del extremo de microfacies 1 a 4 en la columna de la Cata 1 lo hacen los términos del otro extremo. Como consecuencia, aunque la evidencia aún es débil cabe hipotetizar que estas alternancias o repeticiones cíclicas de secuencias se producen también a escala métrica.

Esta alternancia de los tipos extremos del espectro de microfacies podría estar relacionada con procesos alocíclicos o alogénicos.

Si las interpretaciones genéticas de las microfacies son correctas, podrían deberse

a la alternancia de etapas de inundación y mayor batimetría, y por tanto etapas húmedas, con etapas de menor batimetría que podrían corresponder a etapas más áridas, tratándose por tanto de una ciclicidad controlada por el clima.

A lo largo del texto se ha mencionado en repetidas ocasiones que el clima durante la sedimentación de los materiales estudiados en este trabajo fue probablemente de tipo subtropical con alternancia de una estación seca y otra húmeda y una alternancia de mayor magnitud de períodos de años húmedos y períodos de años secos. Esto está ya propuesto en trabajos antecedentes regionales (Gierlowski-Kordesch y Janofske, 1989; Gómez Fernández, 1988; Gierlowski-Kordesch *et al.*, 1991). El trabajo de Fregenal Martínez (1991) realizado en Las Hoyas aportó también evidencias al respecto, y a lo largo de este trabajo se ha mencionado en varias ocasiones a raíz de la interpretación de algunos datos sedimentológicos.

Por consiguiente la hipótesis de la existencia de secuencias cíclicas alogénicas controladas climáticamente en las facies laminadas estudiadas es coherente con el contexto y otras evidencias independientes, aunque se trata de una hipótesis no contrastada.

Como conclusión y resumen de todo lo expuesto se puede decir que dos fenómenos se superpondrían en el origen de la laminación rítmica que caracteriza las facies fosilíferas del yacimiento de Las Hoyas. Por una parte existen evidencias del desarrollo de secuencias rítmicas autogénicas en el sentido de Dott (1988) o secuencias autocíclicas (Einsele *et al.*, 1991), que resultan en una laminación rítmica discíclica episódica y no periódica (Einsele *et al.*, 1991). Así la producción contemporánea de láminas debidas al transporte de sedimentos litorales y láminas debidas al transporte de sedimentos aportados desde el exterior del cuerpo de agua, por flujos canalizados o no, con variación de los puntos de entrada daría lugar a este tipo de secuencias.

El desarrollo de secuencias autocíclicas enmascara y distorsiona, el otro tipo de secuencias observadas, las secuencias alogénicas Dott (1988) o alocíclicas (Einsele *et al.*, 1991) que resultan en una estratificación rítmica cíclica y periódica (Einsele *et al.*, 1991) y que, en este caso, se piensa que están controladas por el clima y se deben a la alternancia de períodos áridos y períodos húmedos representada por la alternancia de las microfácies de los dos extremos del espectro definido.

No se puede descartar la existencia de una influencia del factor tectónico en el desarrollo de estas secuencias laminadas. Como se verá detenidamente en la parte de análisis paleogeográfico la tectónica tuvo un papel preponderante a lo largo del desarrollo de la sedimentación durante el Cretácico Inferior. La presencia de depósitos interpretados como sismitas entre las microfácies laminadas, de estructuras de *slump* frecuentes y otras deformaciones sinsedimentarias es una evidencia del desarrollo de actividad tectónica durante la sedimentación y de la sismicidad activa de la zona. No se ha realizado ningún estudio detallado de las estructuras de deformación y de su distribución estratigráfica. Un estudio de este tipo permitiría localizar los principales eventos tectónicos que tuvieron lugar durante la sedimentación de las facies laminadas y establecer la recurrencia de los mismos, su posible periodicidad, etc. En su caso podría llegar a establecerse la existencia de un tercer tipo de ciclicidad periódica en el conjunto estratigráfico de

facies laminadas, es decir que confluirían en el registro secuencias autocíclicas o autogénicas, secuencias alocíclicas o alogénicas controladas por el clima y secuencias alocíclicas o alogénicas controladas por la actividad tectónica.

La continuidad y uniformidad que muestra el litosoma laminado estudiado y fundamentalmente la ausencia de intercalaciones progradantes de facies de los dominios ambientales litorales sobre las facies laminadas del dominio de cuenca no induce a pensar que pudieran tener lugar variaciones de la relación de la tasa de sedimentación respecto a la tasa de subsidencia. Por el contrario parece que se debió mantener el equilibrio durante toda esta etapa de sedimentación. Si la tectónica sinsedimentaria hubiera resultado en alteraciones sustanciales de la tasa de subsidencia, modificaciones en el espacio de acomodación o en la configuración paleogeográfica en general, la sucesión estratigráfica habría sido diferente. Así por ejemplo la tres secuencias de somerización del sistema lacustre que componen la Secuencia de la Rambla de las Cruces II si encuentran mejor justificación en variaciones de la tasa de subsidencia respecto a la tasa de sedimentación controladas por la tectónica sinsedimentaria. Sin embargo los cambios de espesor de la lámina de agua que parecen haber quedado registrados en las facies laminadas se explican mejor si el factor de control principal fue el clima.

ABRIR CONTINUACIÓN CAPÍTULO 2

